БИБЛИОТЕКА

ОТДЕЛА "ОБСЛЕДОВАНИЕ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ"

ПНИИПКУ "ВЕНЧУР"

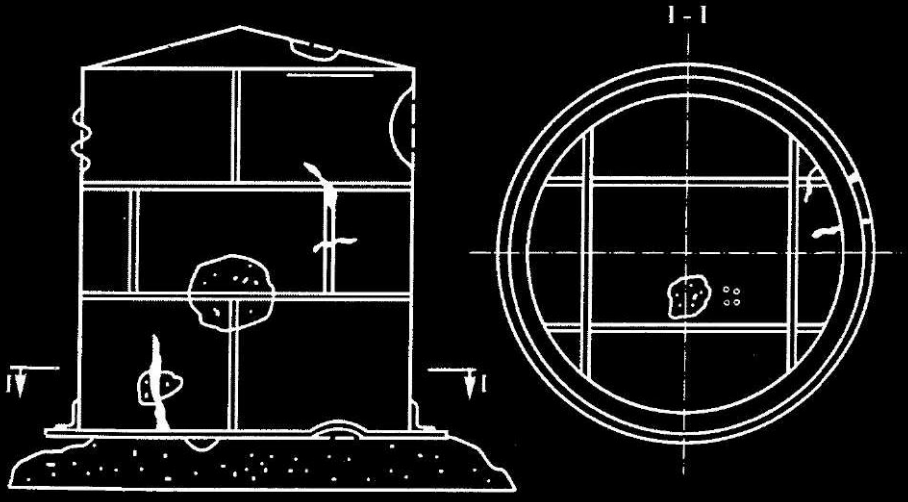
Добромыслов А.Н.

ОЦЕНКА НАДЕЖНОСТИ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ ПО ВНЕШНИМ ПРИЗНАКАМ

МОСКВА
Издательство АСВ
2004

Добромыслов А.Н.

ОЦЕНКА НАДЕЖНОСТИ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ ПО ВНЕШНИМ ПРИЗНАКАМ



Справочное издание

Андрей Николаевич Добромыслов

ОЦЕНКА НАДЕЖНОСТИ ЗДАНИИ И СООРУЖЕНИЙ ПО ВНЕШНИМ ПРИЗНАКАМ

Рецензенты:
Кандидат технических наук, профессор кафедры железобетонных и каменных конструкций МГСУ,
Бедов А.И. Доцент кафедры железобетонных и каменных конструкций МГСУ
Сапрыкин В.Ф.
Заведующий лабораторией мониторинга зданий и сооружений института ЦНИИОМТП, кандидат технических наук
Потапкин Е.В.

Добромыслов А.Н.
Оценка надежности зданий и сооружений по внешним признакам.
Справочное пособие. -М.: Издательство АСВ, 2004, - 72 с. ISBN 5-93093-

Изложена методика для быстрой оценки надежности и технического состояния зданий и сооружений по состоянию отдельных строительных конструкций.

Дана методика по прогнозированию вероятности аварий зданий и сооружений по показателям проекта, строительства и эксплуатации.

Пособие предназначено для работников служб, занимающихся эксплуатацией зданий и сооружений, инженеров-проектировщиков, разрабатывающих новые проекты, проекты реконструкции или осуществляющих обследования зданий и сооружений, а также для студентов строительных специальностей.

ISBN 5-93093-

© Добромыслов А.Н. 2004
© Издательство АСВ 2004

ПРЕДИСЛОВИЕ

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 и сооружений 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 свойств 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 здания или сооружения.

Учет влияния повреждений на надежность конструкций зданий и сооружений рассмотрен в настоящей работе.

Для удобства оценки надежности составлены подробные таблицы.

Своевременная оценка технического состояния и надежности зданий и сооружений позволит вовремя провести 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. Выявление таких объектов по предлагаемой в работе методике позволит эксперту или автору проекта критически подойти к оценке их надежности и принять в случае необходимости дополнительные мероприятия по контролю качества, что в итоге будет способствовать повышению надежности.

1. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ

Аварии зданий и инженерных сооружений наносят значительный экономический ущерб и нередко сопровождаются гибелью людей.

Одной из главных задач при строительстве и эксплуатации зданий и инженерных сооружений является обеспечение надежности гарантирующей их безаварийности.

При этом под надежностью строительного объекта понимается свойство выполнять заданные функции в течение требуемого промежутка времени. В понятие надежности входит: безотказность, долговечность и ремонтопригодность.

Основным свойством, определяющим надежность строительных конструкций зданий и инженерных сооружений[1], является безотказность их работы — способность сохранять заданные функции в течение определенного срока службы.

В настоящее время в литературе нет четкого установленного понятия отказа строительных конструкций.

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

Отказу может предшествовать наступление неудовлетворительного состояния конструкций, при котором затрудняется дальнейшая их эксплуатация вследствие образования различных повреждений[2]: недопустимых деформаций, трещин, колебаний, снижения долговечности и т. п.

При постепенных отказах с течением времени происходит накопление в конструкциях повреждений, вызывающих физический износ сооружения. При постепенных отказах авария сооружения может быть предотвращена за счет своевременного проведения ремонтов и усиления конструкций.

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. Избежать внезапных отказов можно путем их прогнозирования и ликвидации допущенных ошибок.

Отказы конструкций могут привести к аварии - непредвиденному выходу из строя сооружения вследствие его полного или частичного обрушения.

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

1. Далее по тексту — сооружений.
2. Под повреждением понимается дефект в конструкции, возникший в ходе эксплуатации.

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 (нормативная надежность), 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 надежности. В этом случае возникает необходимость в ремонте. С помощью ремонта можно продлевать работу сооружений практически неограниченно.

В связи с этим для обеспечения надежности сооружения имеет значение его ремонтопригодность, представляющая собой приспособленность конструкций к периодическим осмотрам и ремонтам. Время ремонта может быть назначено на основе прогнозирования снижения надежности сооружений и установления их безопасного уровня поврежденности.

Мерой надежности сооружения служит его вероятность разрушения (частота вероятного разрушения сооружения в год). На практике надежность сооружения косвенно может быть оценена в виде коэффициента запаса прочности сооружения, категорией его технического состояния или условной надежностью в баллах.

2. РАЗРУШЕНИЯ СООРУЖЕНИЙ ВСЛЕДСТВИЕ ПОСТЕПЕННЫХ ОТКАЗОВ

Разрушения сооружений от постепенных отказов возникают вследствие накопления различных повреждений в конструкциях при эксплуатации: коррозии металлов, гниения древесины, старения материалов, усталости материалов, размораживания бетона и каменной кладки, различных механических повреждений, вызванных воздействием транспортных средств и производственной деятельностью, медленным изменением грунтовых условий строительной площадки: ползучестью грунта, изменением уровня грунтовых вод, пучением грунта от промерзания, коррозионным воздействием грунтовых вод.

Разрушения от постепенных отказов происходят обычно при длительной эксплуатации и связаны с физическим износом конструкций.

В агрессивных средах (химические, нефтехимические, целлюлозно-бумажные, металлургические предприятия) разрушения от постепенных отказов конструкций могут произойти после 5... 10 лет эксплуатации.

На рис. 1 и 2 показаны характерные разрушения конструкций сооружений от постепенных отказов.

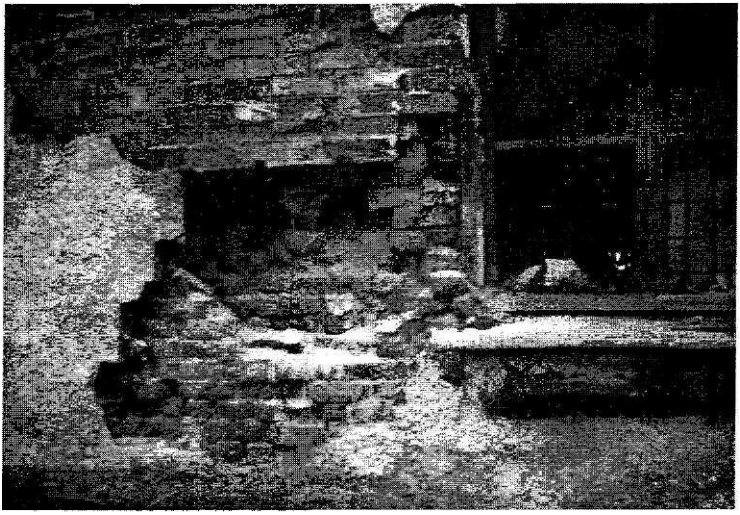
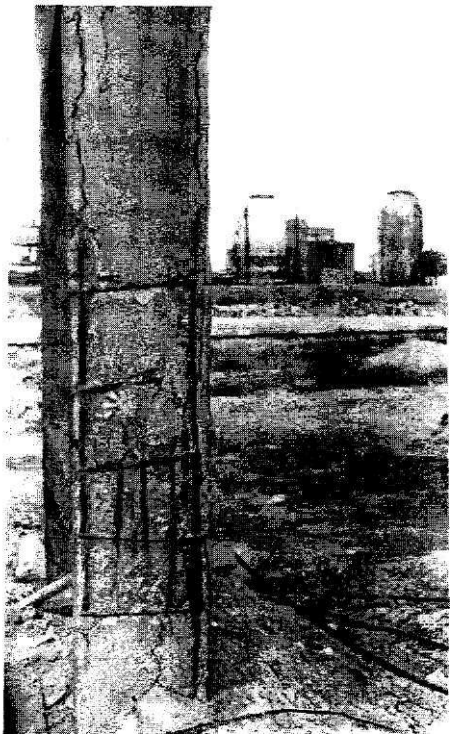


Рис. 1. Разрушение кирпичных стен здания от размораживания кладки

Для оценки эксплуатационной пригодности конструкций сооружения на практике прибегают к натурным обследованиям, на основании которых приходится решать две задачи: при каком значении уровня повреждений может быть допущена нормальная эксплуатация конструкций и на какой срок может быть допущена их эксплуатация до следующего обследования и ремонта.

Рис. 2. Разрушение железобетонных колонн эстакады от коррозии арматуры



В зависимости от уровня надежности сооружения при оценке технического состояния конструкций целесообразно принять три граничных состояния: удовлетворительное, неудовлетворительное и аварийное.

При удовлетворительном состоянии конструкций возможна эксплуатация сооружения без всяких ограничений.

При неудовлетворительном состоянии должны быть снижены эксплуатационные нагрузки до проведения ремонтных работ.

Для сооружений, находящихся в аварийном состоянии, должна быть прекращена их эксплуатация из-за опасности обрушения.

Для практических расчетов в настоящее время единственной нормируемой характеристикой надежности конструкций при оценке прочности являются применяемые в строительных нормах коэффициенты надежности по материалам γ_m, нагрузкам γ_f, условию работы γ_c и назначению γ_n, которые могут быть приведены к полному коэффициенту надежности (запаса) конструкции $\gamma_o = \gamma_m \cdot \gamma_c \cdot \gamma_f \cdot \gamma_n$.

Так, для сравнительных расчетов, указанные коэффициенты по отношению к математическим ожиданиям соответствующих величин в среднем могут быть приняты: $\gamma_f = 1{,}2$, $\gamma_n = 1$, $\gamma_c = 1$, $\gamma_т = \gamma_s/(1—1{,}64C_V) = 1{,}1/(1\text{-}1{,}64\text{-}0{,}07) = 1{,}24$ - для стальных и железобетонных конструкций, разрушающихся по арматуре; $\gamma_m = \gamma_b / (1\text{-}1{,}64C_v) = 1{,}3/(1\text{-}1{,}64\text{-}0{,}135) = 1{,}67$ - для железо-

бетонных конструкций, разрушающихся по бетону, где γ_b и γ_s - коэффициенты надежности по бетону и арматуре, C_v - коэффициенты изменчивости, принимаемые равными C_v = 0,07 для стали, C_v = 0,135 для бетона, 1,64 — числа вероятности, соответствующие обеспеченности 0,95.

Для нагрузок математическое ожидание с некоторым запасом принимается равным величине нормативной нагрузки.

Полные коэффициенты нормативной надежности будут: для стальных и железобетонных конструкций, разрушающихся по арматуре γ_0 = 1,2 ·**1** ·**1,24** ·1=1,5; для железобетонных конструкций, разрушающихся по бетону γ_0 =1,2 ·1 ·1,67 ·1=2 и в среднем составят γ_0 = (1,5+2)/2=1,75.

Проведем анализ последствий при исчерпании тех или иных запасов прочности конструкции. Рассмотрим это на примере железобетонных конструкций, в которых сочетается как бетон, так и сталь.

Как указано выше, полный коэффициент надежности вычисляется как $\gamma_o = \gamma_m \cdot \gamma_c \cdot \gamma_f \cdot \gamma_n = \gamma_{ml} \cdot \gamma_{m2} - \gamma_c \cdot \gamma_f \cdot \gamma_n$ и соответственно составил 1,5 и 2 при разрушении конструкций по арматуре и бетону.

Так, в сравнительных расчетах указанные коэффициенты в среднем были приняты: γ_c=1, γ_f=l,2, γ_n=l, а γ_{ml}=l,l, γ_{m1} =1,3 — коэффициенты надежности по арматуре и бетону, устанавливаемые СНиП относительно браковочных минимумов материалов; γ_{m2}=1,13, γ_{m2} =1,28 — соответственно коэффициенты надежности по арматуре и бетону браковочных минимумов относительно их математических ожиданий.

Исчерпание коэффициента γ_{m1} (т.е. γ_{m1}=1,1) может быть допущено при нормальной работе конструкции и удовлетворительном ее состоянии, т.к. в этом случае конструкция сохраняет принятый нормами браковочный минимум прочностных характеристик материала. В этом случае коэффициенты надежности при разрушении по арматуре или бетону будут соответственно γ = 1,35 или γ = 1,54, а относительная надежность $y = \gamma/\gamma_0$ = 0,9...0,77.

Выражая величину повреждения конструкции ε = 1 —у, будем иметь для этого случая допустимую величину поврежденное™ в пределах е = = 0,1... 0,23, что в среднем будет соответствовать γ_{m1} = 0,15 или 15% от нормативной величины математического ожидания надежности конструкции.

Для конструкций аварийного состояния будут полностью использованы резервы прочности ее материала, т. е. γ_{ml} = 1, γ_{m2} = 1, в то время как резерв по нагрузке может оставаться еще γ_f = 1,2. Для аварийного состояния конструкции у будет меняться в пределах от 1,2 до 1 (в момент разрушения γ<1).

Конструкции, имеющие повреждения в интервале удовлетворительного и аварийного состояния, могут быть отнесены к неудовлетворительному состоянию.

Подсчет для рассмотренных трех состояний конструкций: удовлетворительного, неудовлетворительного и аварийного полных коэффициентов надежности γ, относительной надежности *у* и средних при этом повреждений ε приведен в таблице 1.

При оценке технического состояния зданий и инженерных сооружений целесообразно помимо рассмотренных граничных состояний конструкций принять также промежуточные значения по пятибалльной шкале.

При хорошем состоянии конструкций удовлетворяются все требования норм и для них будет иметь место $\gamma > \gamma_0$.

Сооружения, отвечающие не совсем удовлетворительному состоянию, отличаются от сооружений неудовлетворительного состояния лишь количеством поврежденных конструкций. При не совсем удовлетворительном состоянии имеются лишь единичные повреждения отдельных конструкций, составляющие около 5% от всех конструкций.

Таблица 1

Значения характеристик надежности y и вот состояния конструкций

Характеристики	Эксплуатационное состояние конструкций		
	Удовлетворительное	Неудовлетворительное	Аварийное
Полный коэффициент надежности γ 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 $\varepsilon = 1 - y$	0,15	0,25	0,35

Установленное разграничение категории технического состояния конструкций, имеет большое практическое значение, так как позволяет принять решение об оценке технического состояния конструкций, назначить сроки их ремонта в зависимости от численных величин надежности.

Полученные данные использованы в настоящей работе при разработке таблиц 6.. .20 для оценки технического состояния сооружений.

3. ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ДОЛГОВЕЧНОСТИ СООРУЖЕНИЙ

Техническое освидетельствование сооружений позволяет установить их надежность на момент обследования. Однако, для заключения о дальнейшей эксплуатации, установления срока службы и ремонта сооружения необходимо знать изменение этих свойств с течением времени.

На рис. 3 показаны кривые изменения надежности сооружения. Как показывают исследования [5], изменение несущей способности сооружения за время эксплуатации может быть описано экспоненциальным законом.

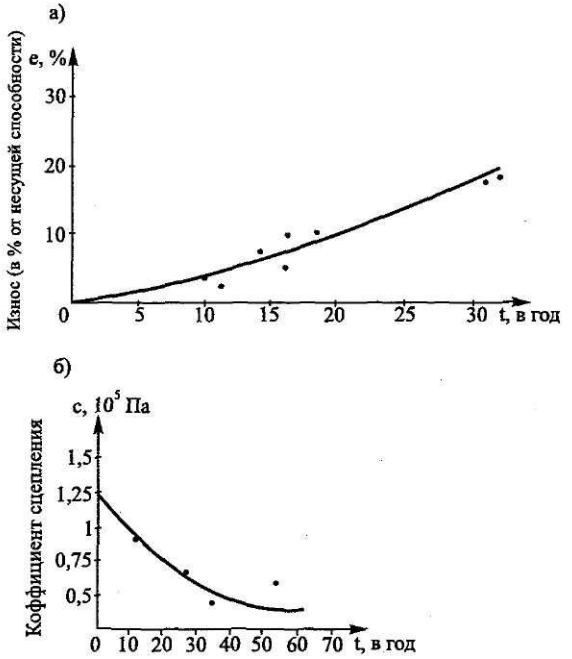


Рис. 3. Изменение надежности сооружений со временем: а- снижение несущей способности железобетонных эстакад; б- снижение сцепления глинистых грунтов в результате ползучести (по данным разрушения подпорных стен)

Выражснис надежности γ при экспоненциальном законе в заданный момент времени будет $\gamma = \gamma_0 \cdot e^{-\lambda t}$ или в относительных величинах

$$y = \gamma / \gamma_0 = e^{-\lambda t} \quad (1)$$

Прологарифмировав (1), получим

$$\lambda = -\ln y / t, \quad (2)$$

где t – постоянная износа или

$$t = -\ln y / \lambda, \quad (3)$$

где t – срок эксплуатации в годах на момент обследования.

Величина повреждения строительных конструкций через t лет ее эксплуатации будет

$$\varepsilon = 1 - e^{-\lambda t}. \quad (4)$$

Оценивая по результатам натурных обследований изменение надежности или прочностных свойств конструкций сооружения за определенный промежуток времени по формуле (2) можно определить постоянную износа.

Для конструкций в момент разрушения $y = 0{,}65$. Подставляя значение y в выражение (3), получим время до разрушения сооружения (время наступления аварийного состояния)

$$t_a = 0{,}5/\lambda, \quad (5)$$

где λ - постоянная износа, вычисляемая по формуле (2), по данным обследования на основании изменения несущей способности в момент обсле-

дования, определяемая по категории технического состояния конструкции в зависимости от повреждений по табл. 2, t_a - срок эксплуатации в годах до аварии.

Срок эксплуатации конструкции до капитального ремонта в годах $t(y$-0,75) будет

Полученные выше зависимости позволяют количественно оценивать эксплуатационную пригодность конструкций сооружений во времени, устанавливать время проведения ремонтов, а также прогнозировать возможность наступления аварии при отсутствии ремонта, что способствует повышению надежности.

Пример

Требуется определить время капитального ремонта основных строительных конструкций эстакады под технологические трубопроводы. Эстакада находится в эксплуатации 10 лет.

На основании натурных обследований по внешним признакам (табл. 2 и 8) установлена величина поврежденности сооружения ε = 0,14.

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

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

По формуле (6) определяем сроки капитального ремонта конструкций сооружения с начала эксплуатации

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

что говорит о необходимости проведения капитального ремонта в ближайшее к моменту обследования время.

4. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ СООРУЖЕНИЙ ПО ВНЕШНИМ ПРИЗНАКАМ

При эксплуатации сооружений широко применяются для оценки технического состояния конструкций визуальные обследования. В связи с этим возникает необходимость установить надежность обследуемых конструкций по внешним признакам их повреждений [4].

Как показали наблюдения, в процессе эксплуатации конструкций происходит циклическое изменение их надежности, что связывается с изменчивостью нагрузок и несущей способности вследствие различных повреждений.

Повреждения в конструкции могут быть двух видов в зависимости от причин их возникновения: от силовых воздействий и от воздействия внешней среды.

Последний вид повреждений снижает не только прочность конструкции, но и уменьшает ее долговечность.

Так, например, стальная ферма с антикоррозионным покрытием и та же ферма с поврежденным антикоррозионным покрытием обладают одинаковой несущей способностью, но разной надежностью.

Влияние повреждений на надежность конструкций сооружения оценивается относительной надежностью конструкций *y* в процессе их эксплуатации.

При достижении конструкцией определенного уровня надежности (см. рис. 4) в ней будут наблюдаться необратимые повреждения: трещины, потеря устойчивости сжатых элементов, пластические деформации, неравномерные осадки фундаментов, коррозионные повреждения и т.п.

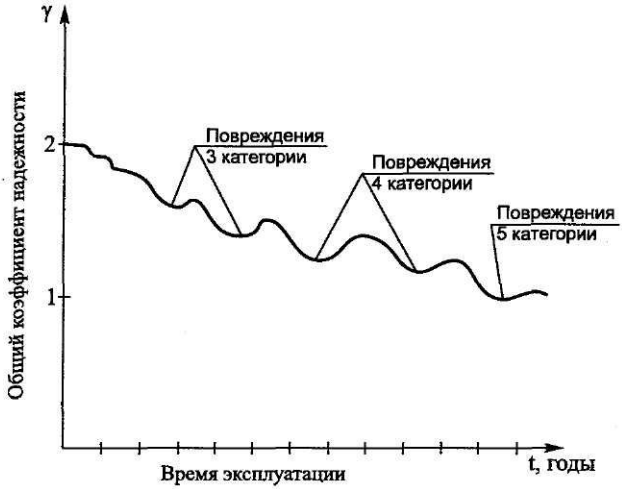


Рис. 4. Изменение надежности сооружений со временем

С учетом этих дефектов посредством прочных расчетов могут быть установлены снижение нормативной надежности *y* и поврежденность. На основании данных о характерных повреждениях зданий и инженерных сооружений, имеющих место при их эксплуатации, составлены таблицы для оценки их технического состояния.

В зависимости от имеющейся поврежденности, техническое состояние конструкций сооружений разделяется на 5 категорий: хорошее, удовлетворительное, не совсем удовлетворительное, неудовлетворительное, аварийное.

Значения *y* и s, для различных категорий технического состояния конструкций сооружения приведены в табл. 2.

При этом оценка надежности конструкций должна проводиться по максимальному повреждению в конструкции, так как при его критическом значении может произойти разрушение конструкции и обрушения всего сооружения.

Для оценки категории состояния конструкции, сооружений необходимо наличие хотя бы одного признака, приведенного в графах 2, 3 таблиц 6-20.

Категории технического состояния сооружения Таблица 2

Категория технического состояния	**Описание технического состояния**	**Относительная надежность** $y = \gamma/\gamma_0$	**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

Оценка технического состояния зданий и инженерных сооружений на основе имеющихся в них повреждений приведена в таблицах 6.. .20, главы 8.

Пример

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 (полкирпича), что при толщине стены 51 см составляет 12/51-100% = 23%, в отдельных плитах перекрытий нормальные трещины с шириной раскрытия в растянутой зоне до 0,3 мм.

Определяем по табл. 7 категорию технического состояния конструкций:

—выветривание кладки стен соответствует 2 категории состояния. Однако для отдельных участков стен в местах карнизов я 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. 7 техническое состояние здания по надежности относится к 4 категории (неудовлетворительное). Для продолжения эксплуатации здания требуется провести ремонт по устранению разрушенной кладки стен.

Пример

Требуется определить техническое состояние крупнопанельного жилого дома по данным визуального обследования.

В ходе обследования были 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.

На основании табл. 6 главы 8 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-й категории технического состояния (не совсем удовлетворительное).

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

Пример

Требуется определить техническое состояние железобетонного аэротенка по данным визуального обследования.

На основании обследования выявлены следующие повреждения конструкций: в наружных и внутренних стенах следы коррозии распределительной арматуры, в большинстве конструкций ходовых мостиков аэротенка отмечается снижение прочности бетона до 30% от размораживания.

Определяем по таблице 9 техническое состояние сооружения, которое может быть отнесено к 3-й категории ($\varepsilon = 0{,}15$), что говорит о необходимости проведения ремонта.

5. РАЗРУШЕНИЯ СООРУЖЕНИЙ ВСЛЕДСТВИЕ ВНЕЗАПНЫХ ОТКАЗОВ

До настоящего времени при проектировании сооружений не учитывается влияние возможных ошибок или совокупности ошибок, допущенных при проектировании, изготовлении или эксплуатации. К сожалению, отсутствуют сколько-нибудь достоверные статистические данные по данному вопросу.

Для выявления причин возникновения аварий в работе [6] на основе отечественных и зарубежных данных был выполнен анализ состояния различных зданий и инженерных сооружений, разрушение которых произошло от недостатков в проектировании, строительстве и эксплуатации.

Выявлены следующие причины аварий: недоработка норм проектирования - 10%, неудачное проектное решение-36%, низкое качество строительных материалов-2%, плохое качество изготовления и монтажа- 39%, недостатки эксплуатации-12%, стечение неблагоприятных факторов-2%.

В 73% случаев аварии происходили при сроке эксплуатации сооружения менее года в результате грубых ошибок, допущенных во время проектирования и строительства.

Фактическая вероятность аварий в год составила: для зданий - 1,4-10"[4], а для инженерных сооружений 1,5-Ю-[5], причем вероятность аварий, вызванных неблагоприятным разбросом прочности конструкций и нагрузок, составила в среднем 2-Ю-[6].

Рассмотрим основные ошибки, приведшие к разрушениям при внезапных отказах при проектировании, строительстве и эксплуатации.

Ошибки в проектах на различных стадиях бывают вызваны:

несоответствием принятых расчетных предпосылок действительной работе сооружения;

недостаточно выполненным количеством скважин при инженерно-геологических изысканиях, неправильным учетом геологических условий площадки при проектировании;

неполным учетом возможных нагрузок и воздействий;

применением новых неапробированных решений, а также неучетом масштабного фактора в сторону его увеличения;

недостаточным сопротивлением сооружения случайным воздействиям;

допущенными ошибками из-за отсутствия достаточного опыта у проектировщиков, недостатка времени на проектирование.

На рис. 5,6,7 показано разрушение сооружений, вызванных ошибками при проектировании.

Наиболее характерными дефектами при строительстве являлись:

отступления от проекта в части:

применения непроектных материалов, изменения сечения элементов, изменения армирования железобетонных конструкций (увеличение толщины защитного слоя, уменьшение диаметра стержней или величины перепуска при соединении, невыполнение необходимой сварки и т.п.);

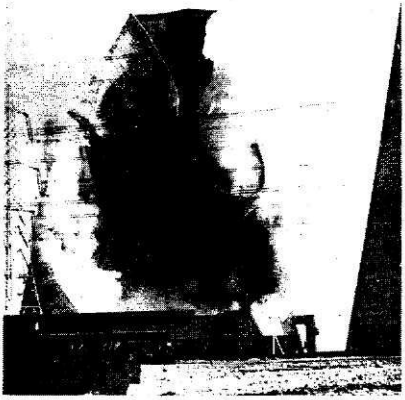
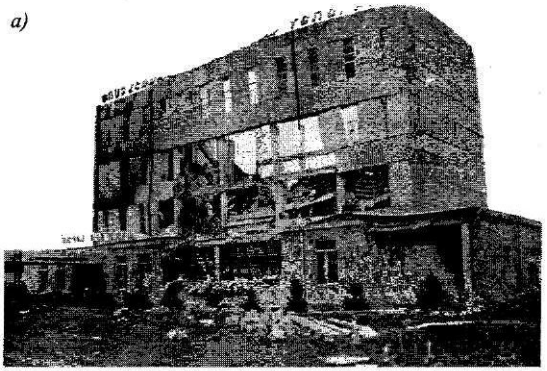


Рис. 5. Разрушение башенной градирни в Англии от неправильного учета ветровой нагрузки

а)



б)

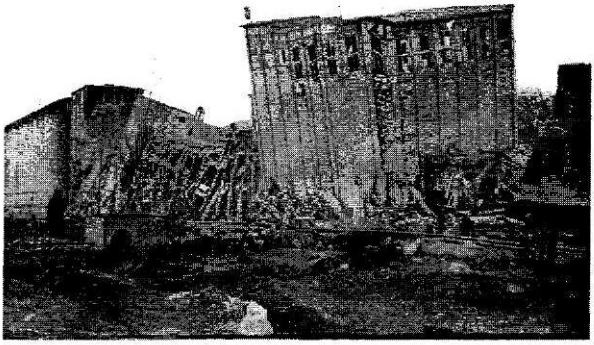


Рис. 6. Разрушение сооружений от неправильного учета сейсмических нагрузок в г. Спитак: *а* - здания почты; *б*- силосного корпуса

Рис. 7. Разрушение покрытия текстильной фабрики в Калужской области из-за ошибок в расчете железобетонных колонн

изменения проектных узлов при монтаже: применение вместо проектных соединительных деталей случайных элементов и обрезков металла, уменьшение площадки опирания несущих конструкций, отсутствия в монтажных стыках балок и ферм проектных стыковых накладок, опирания балок на каменные конструкции без устройства подушек, уменьшение размеров сварных швов, некачественное бетонирование стыков и узлов;

нарушения технологии производства работ;

несвоевременной установки при монтаже межколонных вертикальных связей, проведения монтажа конструкций на всю высоту сооружения без проектной сварки и замоноличивания узлов сопряжения конструкций;

фиксация и закрепление конструкций при монтаже с помощью случайных элементов;

неуплотнение бетонной смеси и необеспечение ухода за бетоном и раствором;

недостаточное уплотнение насыпных грунтов, несвоевременный водоотвод и водопонижение, промораживание основания.

На рис. 8,9 показано разрушение сооружений вследствие дефектов, допущенных при строительстве, а на рис. 10 при эксплуатации.

Нарушения эксплуатации проявлялись в виде:

завышения проектных нагрузок;

отступлений от правил эксплуатации;

использования сооружения не по назначению;

отсутствия контроля за состоянием сооружения;

эксплуатации сооружения с повреждениями.

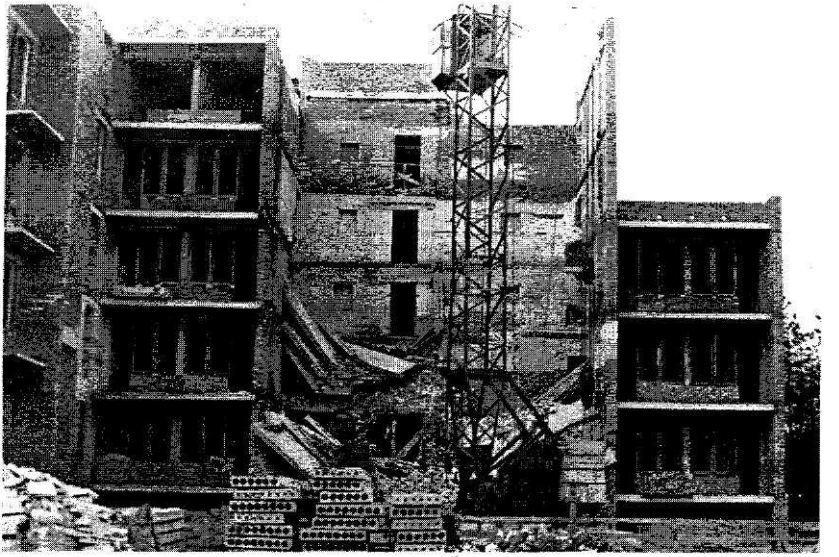


Рис. 8. Обрушение здания санатория вследствие недостаточной прочности кладки

Рис. 9. Разрушение аэротенка в г. Тольяти вследствие занижения заделки стеновых панелей в днище

Рис. 10. Разрушение покрытия и стен промышленного здания в г. Климовске от размораживания кирпичной кладки стен

Предотвращение аварий сооружений от внезапных отказов может быть осуществлено путем их прогнозирования.

6. ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ВЕРОЯТНОСТИ АВАРИЙ

Анализируя данные об авариях, приведенные в главе 5, можно заключить, что аварии прямо или косвенно связаны с нарушением требований норм и правил строительной практики.

Соблюдение действующих норм и правил гарантирует высокую надежность сооружений (вероятность аварии этих сооружений не превышает 2,4-Ю-^{6}).

Исследование причин аварий послужило основанием для попытки оценить их возможность возникновения на основе формализованного анализа условий, влияющих на надежность сооружения [3].

К числу этих условий отнесем надежность проекта, качество строительства и эксплуатации.

Недостаточная надежность проекта может возникнуть вследствие:

1) несоответствия принятой расчетной модели действительной работе конструкций из-за отсутствия или неполноты норм на проектирование, неясности расчетных схем и фактических условий работы и эксплуатации объекта, учета сопротивляемости сооружения случайным воздействиям;

2) недостаточной апробированности конструктивного решения (наличия построенных аналогичных сооружений, значительного отличия разме-

ров проектируемого сооружения и нагрузок в большую сторону от построенных ранее аналогичных сооружений);

3) нарушения строительных норм и правил при выполнении проектирования в части: полноты инженерно-геологических исследований, учета агрессивности внешней среды, отсутствия указаний в проекте о принятых нагрузках, возможных допусках на изготовление, марках материалов, методов строительства и эксплуатации ;

4) допущенных ошибок из-за отсутствия достаточного опыта проектировщиков;

5) допущенных просчетов из-за недостатка времени или средств на проектирование.

Некачественное строительство объектов может возникнуть вследствие:

6) применения материалов и конструкций, не соответствующих проекту;

7) использования необычных или неапробированных методов возведения;

8) плохого контроля за качеством строительства, неудовлетворительного взаимодействия проектировщиков и строителей;

9) низкой квалификации производственного персонала, частой смены производственного персонала;

10) неудовлетворительной обстановки на стройке: недостаток времени, средств, плохие взаимоотношения персонала;

11) отступлений от строительных норм и правил строительной практики при строительстве сооружения.

Некачественная эксплуатация может возникнуть вследствие:

12) завышения проектных нагрузок;

13) отсутствия контроля за состоянием сооружения, эксплуатации сооружения с неустраненными дефектами;

14) отступлений от правил эксплуатации, использования сооружения не по назначению.

Определение вероятности аварии производится на основании анализа условий, влияющих на надежность сооружений, используя экспертные оценки, что не исключает применения расчетных данных или данных натурных обследований.

Опросная анкета, на которую анонимно отвечают эксперты, содержит ряд оценочных условий, каждое из которых имеет свой удельный вес, с общей суммой всех условий, равной 1 (см. табл. 4 примера расчета).

В таблице 4 приведены типовые условия анализа надежности сооружения, находящегося в эксплуатации.

При необходимости может быть проведен анализ только надежности проекта, а число условий может быть дополнено или изменено.

Каждое условие оценивается по балльной шкале и имеет 5 вариантов ответа: 1 (неприемлемо), 2 (неудовлетворительно), 3 (удовлетворительно), 4 (хорошо), 5 (отлично).

Условную надежность здания или сооружения определяют по формуле $\beta = \frac{\Sigma P_i}{5}$, где P_i — удельная оценка надежности, получаемая умножением удельного веса условия на оценку в баллах.

Полученные значения для сооружения сравнивают со шкалой оценок надежности (см. табл. 3).

Таблица 3

Шкала оценок надежности и вероятности аварии сооружений при экспертных оценках

Условная надежность β	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

Хотя определение подверженности сооружений аварии по указанной выше методике может быть выполнено довольно приблизительно, однако, преимуществом указанной методики является меньшая зависимость ее от субъективных оценок.

Для более достоверных оценок надежности сооружения против аварии их оценку осуществляют несколькими независимыми экспертами.

В случае неблагоприятного прогноза назначаются дополнительные меры по проверке качества проектирования, строительства и эксплуатации с целью выявления и устранения дефектов.

Пример

Требуется оценить надежность и вероятность аварии железобетонного силоса для цемента по исходным данным, описанным в книге Шкинева А.Н. «Аварии на строительных объектах, их причины и способы предупреждения», Стройиздат, 1976, с. 11.

Силосный корпус, состоящий из цилиндрических силосов, был построен по типовому проекту, разработанному в 1950 г. Высота силоса 26,7 м, внутренний диаметр 9,5 м, толщина стенки 18 см, бетон марки 140. Разгрузку силосов производили пневматическим способом.

На основании сведений, полученных экспертом на предприятии, было установлено следующие:

- качество материалов при строительстве силоса проверялось нерегулярно;
- строительная организация не имела опыта строительства силосов в скользящей опалубке;
- должностной контроль за качеством строительства не осуществлялся;
- строительство велось неквалифицированными кадрами, руководство строительством не имело высшего технического образования;

- в процессе производства работ допускались длительные перерывы при бетонировании стенок силосов в подвижной опалубке, укладку арматуры производили не по шаблону.

При эксплуатации силосов имелась вероятность завышения нагрузок от избыточного давления воздуха при разгрузке силосов, так как это давление никак не контролировалось.

Приемка силосов в эксплуатацию была проведена с нарушением правил без загрузки всех силосов для выравнивания осадок; производилась эксплуатация силосов с трещинами в нарушение предписания об остановке их эксплуатации.

На основании опыта обследований, эксплуатации и аварий аналогичных сооружений экспертом в таблице 4 проведена оценка условной надежности силоса.

Таблица 4

Экспертная оценка надежности силоса

№	Условие надежности	Удельный вес условия	Оценка в баллах					Удельная надежность	Обоснование принятого решения
			1	2	3	4	5		
Качество проекта									
1	Соответствие расчетной модели сооружения и нагрузок действительной работе	0,05			3			0,15	Недостаточно в нормах был изучен коэффициент давления при выпуске сыпучего
2	Апробированность конструктивного решения	0,05				4		0,2	Имелся опыт строительства аналогичных сооружений
3	Учет требований нормативных документов	0,05				4		0,2	Типовой проект
4	Квалификация проектировщиков	0,1				4		0,4	Типовой проект
5	Наличие достаточного времени и средств на проектирование	0,05				4		0,2	Типовой проект
Качество строительства									
6	Соответствие материалов и конструкций проекту	0,1	1					0,1	Допускались перерывы в бетонировании. Укладка арматуры проводилась не по шаблону

№	Условие надежности	Удельный вес условия	Оценка в баллах					Удельная надежность	Обоснование принятого решения
			1	2	3	4	5		
7	Апробированность методов строительства	0,05		2				0,1	Организация не имела опыта строительства силосов
8	Контроль качества строительства	0,1		2				0,2	Качество проверялось нерегулярно
9	Квалификация кадров	0,1	1					0,1	Строительство велось неквалифицированными кадрами
10	Достаточность времени и средств на строительство	0,05			3			0,15	Строительство велось в сжатые сроки
11	Отсутствие отступлений от норм и проекта	0,1	1					0,1	Не была проведена пробная загрузка перед эксплуатацией
Качество эксплуатации									
12	Отсутствие завышения проектных нагрузок	0,05		2				0,1	Давление воздуха при пневморазгрузке не контролировалось
13	Контроль за исправностью сооружения и оборудования	0,05	1					0,05	То же
14	Соблюдение правил эксплуатации	0,1	1					0,1	Проводилась эксплуатация с опасными повреждениями
		Σ=1						P=2,15	

1 — неприемлемо, 2 - неудовлетворительно, 3 - удовлетворительно, 4 — хорошо, 5 — отлично

Условная надежность силоса $\beta = \frac{P}{5} = \frac{2,15}{5} = 0,43.$

В соответствии с табл. 3 условная надежность β = 0,43 соответствует вероятности аварии в год и составляет $Q = 10$, что говорит о недопустимой надежности сооружения.

Фактически силос разрушился через год с начала эксплуатации из-за разрыва кольцевой арматуры в стенах вследствие занижения ее сечения в 2 раза по сравнению с проектом.

7. ИССЛЕДОВАНИЕ НАДЕЖНОСТИ КОНСТРУКТИВНЫХ СИСТЕМ СООРУЖЕНИЙ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ

Помимо экспертных оценок (см. главу 6) надежность проекта сооружения может быть более точно установлена из анализа сооружения как конструктивной системы, состоящей из отдельных конструкций, связанных между собой в определенной последовательности и находящихся во взаимодействии с различными событиями 8.

Многолетний опыт строительства показывает, что различные конструктивные системы сооружений одинакового назначения могут обладать различной надежностью.

Аварии обычно случаются тогда, когда один или несколько отказов элементов системы приводят к опасной ситуации.

Решение сложной проблемы установления отказа всей системы производится методом ее упрощения путем построения так называемого логического дерева отказов.

Дерево отказов является графическим представлением взаимосвязей между исходными отказами отдельных элементов системы и событиями, приводящими к возникновению различных аварийных ситуаций, соединенных логическими знаками «и», «или» (см. рис. 11, 12).

Исходными отказами являются события, для которых имеются данные о вероятности их возникновения. Обычно это отказы элементов системы: разрушения конструкций и узлов соединения конструкций, различные инициирующие события (ошибки персонала при эксплуатации, случайные повреждения и т.п.).

В дереве отказов события записываются в прямоугольниках, а исходные отказы - в кружках.

Логический знак может иметь один или несколько входных событий и только одно выходное событие. Выходное событие логического знака «и» наступает в том случае, если входные события происходят одновременно. Выходное событие логического знака «или» происходит, если имеет место любое из входных событий.

Установление надежности сооружения начинают с предварительного анализа опасностей, которые затем используют при построении дерева отказов.

Анализ проводят на основе изучения процесса работы и эксплуатации конструктивной системы, детального рассмотрения воздействий окружающей среды, существующих данных по отказам аналогичных сооружений.

Прежде всего определяют, что является отказом системы, и вводят необходимые ограничения на анализ. Например, устанавливают необходимость учета землетрясений, аварий оборудования, рассмотрения только начального отказа сооружения (отказа в начальный срок эксплуатации) или отказа в течение всего срока службы и т.п. 24

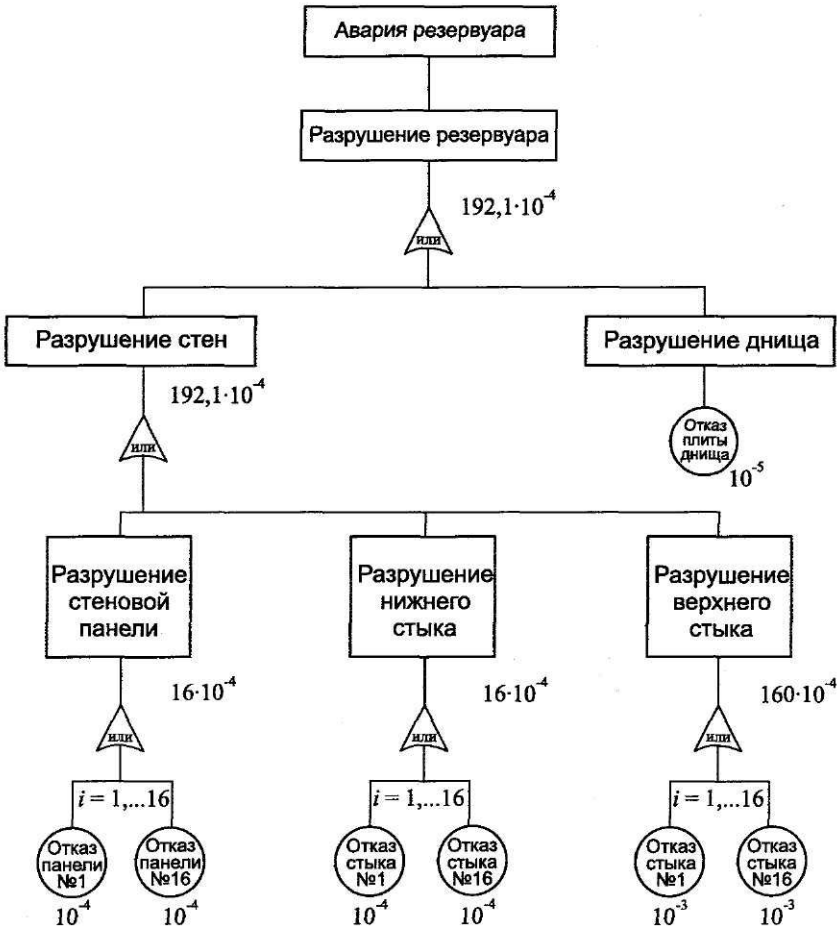


Рис. 11. Дерево отказов железобетонного резервуара без обвязки

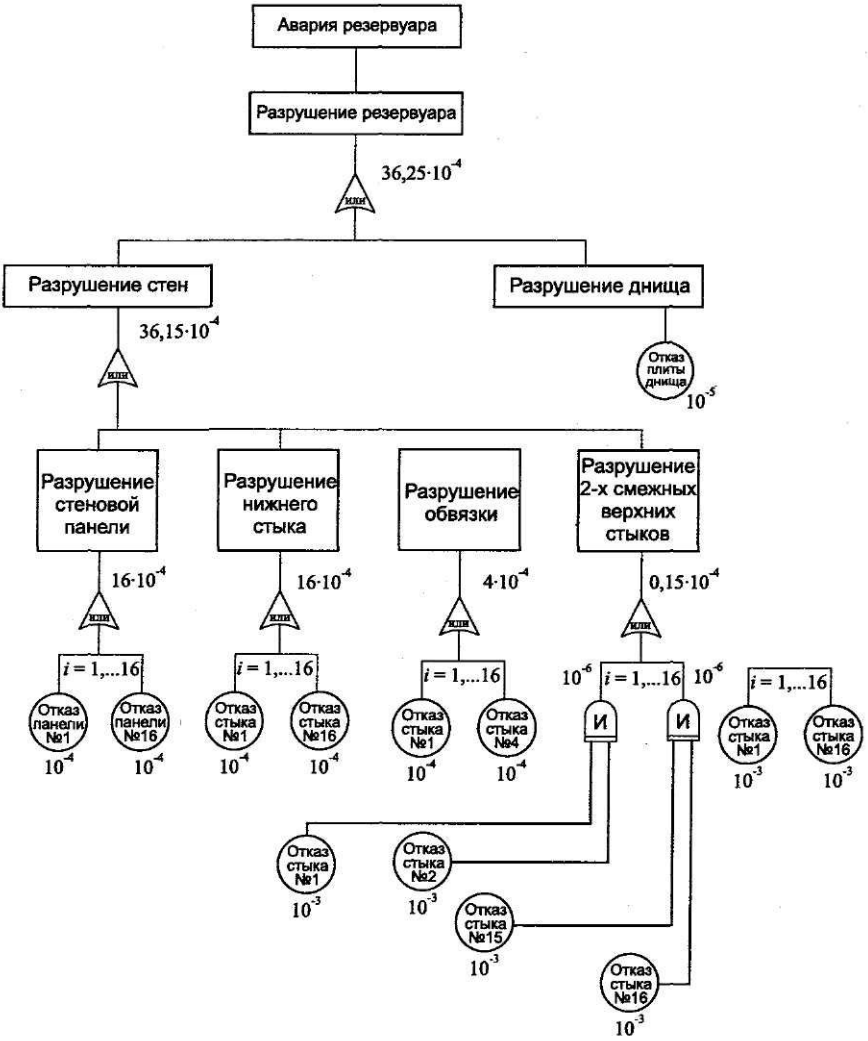


Рис. 12. Дерево отказов железобетонного резервуара с обвязкой

Затем выявляют элементы системы, которые могут вызвать опасные состояния - конструкции, узлы соединений, основание сооружения, инициирующие события. При этом ставят вопрос, что будет с системой, если произойдет отказ такого-то элемента.

Для того чтобы получить количественную оценку надежности с помощью деревьев отказов, нужно иметь данные об исходных отказах. Эти данные могут быть получены на основе опыта эксплуатации отдельных строительных объектов, экспериментов и экспертных оценок специалистов.

Построение дерева отказов производят с соблюдением определенных правил.

Вершина дерева обозначает конечное событие. Абстрактные события заменяются на менее абстрактные события. Например, событие «авария резервуара» заменяется на менее абстрактное событие «разрушение резервуара».

Сложные события разделяют на более элементарные. Например, «отказ резервуара» (см. рис. 13), который может произойти в течение срока его службы, разделяют на отказ в стадии испытания, и отказы в первые и последующие 20 лет эксплуатации. Такое разделение вызвано различными причинами отказов: начальной надежностью сооружения и накоплением повреждений в результате длительной эксплуатации.

Рис. 13. Дерево отказа резервуара при эксплуатации

При построении дерева отказов с целью упрощения обычно не включают события с очень малой вероятностью.

Количественным показателем отказа системы является вероятность Q возникновения одного отказа в течение принятого срока эксплуатации.

Надежность системы определяется выражением

$$P = 1 - Q.$$

Если система состоит из i элементов, соединенных с помощью знака «или», ее отказ будет определяться как

$$Q = 1 - (1 - q_1)(1 - q_2),\ldots,(1 - q_i), \qquad (7)$$

где $q_{i;}$- вероятность отказа i-го элемента системы.

При малой величине q_i формулу (7) можно приближенно выразить как

$$Q = q_1 + q_2 +,\ldots, + q_i. \qquad (8)$$

Для системы или подсистемы из i элементов, соединенных знаком «и», отказ будет

$$Q = q_1.q_2.,\ldots, q_i. \qquad (9)$$

Проиллюстрируем предлагаемую методику на конкретном примере.

Пример

Требуется исследовать надежность двух конструктивных схем железобетонного заглубленного резервуара для воды (рис. 14).

Для резервуара, запроектированного без обвязки (см. рис. 14 а, б), сборные панели стен внизу замоноличены в зуб железобетонного днища, а сверху приварены к покрытию в двух точках для каждой панели. Соединение стенок панелей между собой принято конструктивное.

В другой конструктивной схеме (рис. 14 а, в) стеновые панели соединены с днищем и покрытием аналогично, но дополнительно связаны между собой с помощью обвязки, образующейся за счет сварки выпусков горизонтальной арматуры по верху стены.

Оба резервуара запроектированы в соответствии со строительными нормами и обладают одинаковой прочностью.

Исследование надежности ограничено стадией гидравлических испытаний.

Из анализа имевших место аварий резервуаров устанавливаем, что на стадии гидравлических испытаний их отказы происходят из-за разрушений, приводящих к мгновенному разливу находящихся в них жидкостей.

Изучение условий, вызывающих такие разрушения, для резервуаров даны в предварительном анализе опасностей в таблице 5.

Численные значения вероятностей отказа элементов системы устанавливаем на основе экспертных оценок.

В результате анализа работы резервуара под нагрузкой устанавливаем: в резервуаре без обвязки разрушение верхнего стыка из-за некачественного изготовления одной закладной детали или сварного шва приведет к разрушению стеновой панели от изгиба вследствие изменения ее проектной расчетной схемы.

В резервуаре с обвязкой разрушение одного верхнего стыка, благодаря совместной работе стеновых панелей, не приведет к разрушению стеновой панели (на-

Таблица 5

Предварительный анализ опасностей конструктивных систем железобетонного заглубленного резервуара для стадии гидравлического испытания

Подсистема	Опасный элемент	Вероятность отказа опасного элемента	Факторы, порождающие опасные условия	Опасные условия	Возможная авария	Последствия аварии
Резервуар без обвязки (рис. 14 а, б)						
Покрытие	Панели покрытия	10^{-7}	Плохое замоноличивание швов между панелями, низкое качество сварных швов и закладных деталей	Разрыв диска покрытия или его части	Разрушение резервуара	Разрушение сооружения и близлежащих строений
Стены	Стеновая панель	10^{-4}	Недостаточное количество арматуры или ее смещение по толщине панели	Разрушение панели от изгиба	То же	То же
	Верхний стык	10^{-3}	Некачественный сварной шов или плохая анкеровка закладной детали	Отрыв стеновой панели от покрытия	То же	То же
	Нижний стык	10^{-4}	Недостаточное защемление панели, недостаточное армирование стыка	Разрушение стыка	То же	То же
Днище	Плита днища	10^{-5}	Недостаточное армирование	Отрыв части днища	То же	То же
	Основание резервуара	10^{-4}	Неоднородность основания, подкопы под днище	Разрушение от общего изгиба резервуара, разрушение днища	Повреждение резервуара	Потребуется усиление сооружения

Продолжение таблицы 5

Подсистема	Опасный элемент	Вероятность отказа опасного элемента	Факторы, порождающие опасные условия	Опасные условия	Возможная авария	Последствия аварии
Резервуар с обвязкой (рис. 14 а, в)						
Покрытие	Панели покрытий	10^{-7}	Плохое замоноличивание швов между панелями, низкое качество сварных швов и закладных деталей	Разрыв диска покрытия или его части	Разрушение резервуара	Разрушение сооружения и близлежащих строений
Стены	Стеновая панель	10^{-4}	Недостаточное количество арматуры или ее смещение по толщине панели	Разрушение панели от изгиба	То же	То же
	Обвязка	10^{-4}	Некачественные сварные швы в стыках стеновых панелей	Разрыв обвязки	То же	То же
	Верхний стык	10^{-3}	Некачественный сварной шов или плохая анкеровка закладной детали	Отрыв стеновой панели от покрытия	То же	То же
	Нижний стык	10^{-4}	Недостаточное защемление панели, недостаточное армирование стыка	Разрушение стыка	То же	То же
Днище	Плита днища	10^{-5}	Недостаточное армирование	Отрыв части днища	То же	То же
	Основание резервуара	10^{-4}	Неоднородность основания, подкопы под днище	Разрушение от общего изгиба резервуара, разрушение днища	Повреждение резервуара	Потребуется усиление сооружения

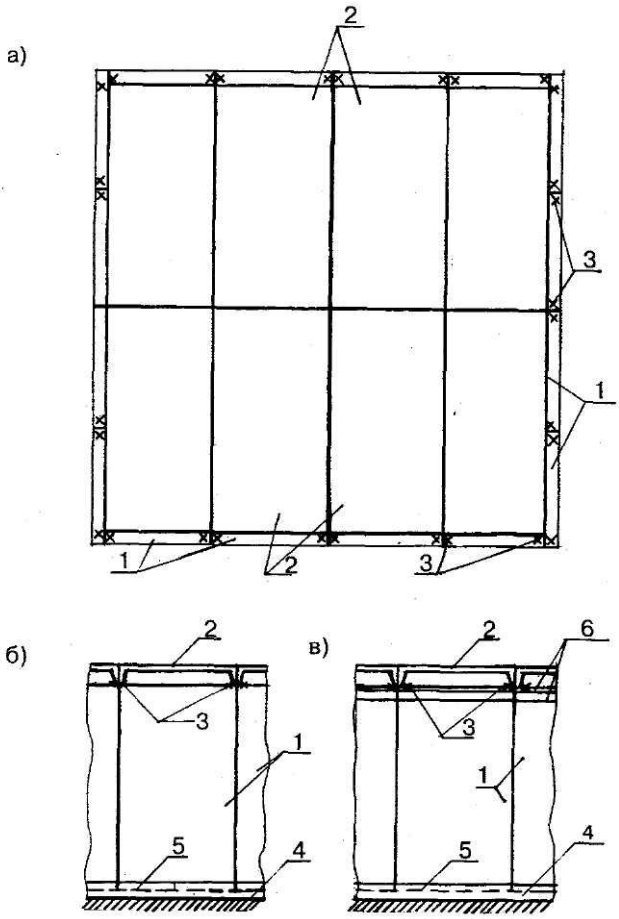


Рис. 14. Конструктивные схемы резервуаров: а- план покрытия; б- конструкция стены резервуара без обвязки; в- то же с обвязкой; 1- стеновые панели; 2- плиты покрытия; 3- закладные детали верхнего стыка; 4- днище; 5- нижний стык стены с днищем; 6- обвязка

грузка будет восприниматься смежными панелями). При этом нагрузка на закладную деталь смежной панели увеличивается только в 1,5 раза, что, однако, меньше заложенного запаса прочности, принимаемого при расчете строительных конструкций и составляющего около 2. Разрушение стены произойдет тогда, когда откажут одновременно верхние стыки двух смежных панелей, так как в этом случае произойдет разрушение обвязки из-за увеличения ее пролета в 2 раза.

На основании предварительного анализа опасностей составляем деревья отказов для двух конструктивных схем резервуаров (см. рис. 11, 12). События с малой вероятностью отказа самого резервуара (разрушение покрытия) при построении дере-

вьев не учитываем. Цифровыми значениями на деревьях отказов обозначаем вероятности начального отказа.

Вероятность отказа резервуара без обвязки вычисляем по формуле (8)

$$Q = \sum_{1}^{16} 10^{-4} + \sum_{1}^{16} 10^{-4} + \sum_{1}^{16} 10^{-4} + 10^{-5} = 192{,}1 \cdot 10^{-4}.$$

Вероятность отказа резервуара с обвязкой вычисляем по формуле (8) для событий, соединенных с помощью знака «или», и по формуле (9) для одновременных отказов смежных стыков стеновых панелей, соединенных логическим знаком «и»

$$Q = \sum_{1}^{16} 10^{-4} + \sum_{1}^{16} 10^{-4} + \sum_{1}^{16} 10^{-3} \cdot 10^{-3} = 32{,}25 \cdot 10^{-4}.$$

Как видно из сопоставления, вероятность отказа резервуара без обвязки более чем в 5 раз выше, чем с обвязкой. Резервуар без обвязки не рекомендуется к применению.

На практике наблюдались аварии резервуаров во время гидравлических испытаний, запроектированных по схеме рис. 14 а, б. При этом была выявлена ненадежность принятого конструктивного решения крепления стеновых панелей к покрытию, при котором достаточно одной некачественной приварки анкерных стержней закладной детали, чтобы вызвать разрушение целого сооружения.

Таким образом, исследование надежности конструктивных систем позволяет решить несколько важных для практики задач: качественно оценивать надежность запроектированного строительного объекта и в случае повышенной опасности осуществлять мероприятия для ее повышения, определять при проектировании относительную надежность сооружения для различных вариантов конструктивных схем, количественно оценивать надежность сооружений.

8. ПРИЛОЖЕНИЕ. ТАБЛИЦЫ ДЛЯ ОЦЕНКИ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ЗДАНИЙ И ИНЖЕНЕРНЫХ СООРУЖЕНИЙ ПО ВНЕШНИМ ПРИЗНАКАМ

Относительная надежность и поврежденность конструкций оценивается по таблице 2 в зависимости от категории технического состояния, определяемого по таблицам 6.. .20 в зависимости от вида сооружения и наличия в нем тех или иных повреждений.

Оценка технического состояния жилых и общественных зданий по внешним признакам Таблица 6

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

Продолжение таблицы 6

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

Продолжение таблицы 6

1	2	3
5	Каменные конструкции Отрыв продольных стен от поперечных. Вертикальные и косые трещины в местах опирания балок или ферм на пилястры. Выпучивание или смещение панелей стен, разрушение узлов крепления панелей. Вертикальные сквозные трещины в продольных и поперечных стенах по высоте здания с раскрытием более 10 мм. Обрушение отдельных конструкций. Железобетонные конструкции 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. Стальные конструкции Потеря устойчивости балок и сжатых элементов колонн и ферм. Разрыв растянутых элементов. Прогибы более 1/80 пролета. Деревянные конструкции 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.	Каменные конструкции Разрушение кладки 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. Железобетонные конструкции Уменьшение сечения арматуры из-за коррозии более 15%. Снижение прочности бетона более 30%. Расстройство стыков. Заниженная площадь опирания плит (менее 5 см). Стальные конструкции Коррозия с уменьшением расчетного сечения несущих элементов более 25%. Расстройство стыков элементов со взаимным смещением опор. Деревянные конструкции Поражение гнилью строительных конструкций более 25% сечения.

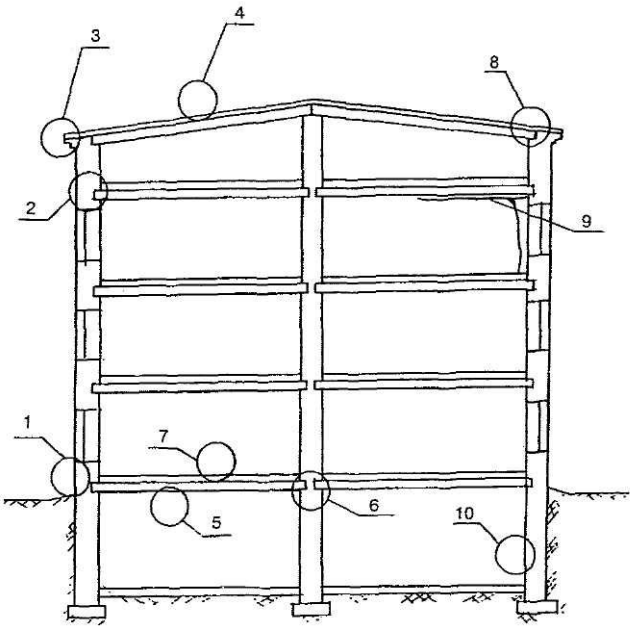


Рис. 15. Характерные повреждения конструкций жилых и общественных зданий: 1- расслоение кладки цоколя; 2- повреждение опор деревянных балок; 3- расслоение кладки карниза; 4- протечки и разрушение кровли; 5- коррозия или образование трещин в железобетонных балках перекрытия; 6- трещины в кладке в месте 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

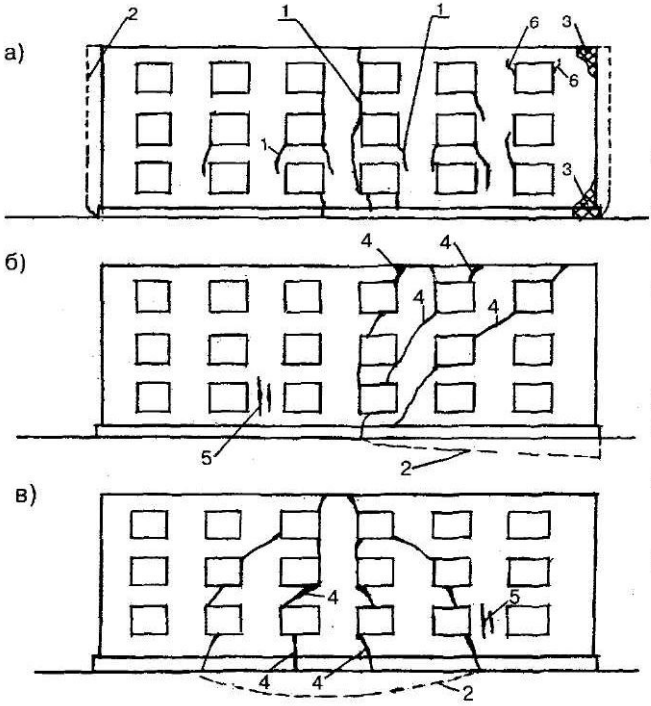


Рис. 16. Трещины в наружных стенах многоэтажных зданий: а- от температурно-влажностных воздействий; б, в- от неравномерных осадок фундаментов; 1- трещина от температурных воздействий; 2- линия деформации; 3- разрушения от увлажнения; 4- трещина от осадок фундаментов; 5- то же от перегрузок простенка; 6- то же от температурных деформаций перемычки

Оценка технического состояния промышленных зданий по внешним признакам Таблица 7

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

Продолжение таблицы 7

1	2	3
	Железобетонные конструкции Образование трещин в растянутой зоне изгибаемых элементов до 0,5 мм. Стальные конструкции Относительные прогибы балок до 1/150 пролета	Железобетонные конструкции Образование продольных трещин вдоль рабочей арматуры из-за коррозии. Отдельные выколы бетона. Стальные конструкции Пластинчатая ржавчина с уменьшением сечения элементов до 10 % сечения из-за коррозии. Местные погнутости элементов от ударов транспортных средств.
4	Каменные конструкции 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 пилястры длиной до 20 см. Вертикальные сквозные трещины в продольных и поперечных стенах с раскрытием до 10 мм. Трещины в перегородках более 10 мм. Железобетонные конструкции Ширина раскрытия нормальных трещин изгибаемых элементов в растянутой зоне до 1 мм. Стальные конструкции Прогибы балок, заметные на глаз (до 1/80 пролета). Выпучивание стенок и поясов балок и колонн.	Каменные конструкции 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. Железобетонные конструкции Отслоение защитного слоя железобетонных конструкций с уменьшением сечения арматуры до 15% из-за коррозии. Снижение прочности бетона до 30%. Стальные конструкции Коррозия элементов до 25% сечения. Отклонение ферм от вертикальной плоскости более 15 мм.

Продолжение таблицы 7

1	2	3
5	Каменные конструкции Отрыв продольных несущих стен от поперечных. Вертикальные и косые трещины в местах опирания балок или ферм на пилястры 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. Железобетонные конструкции 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. Стальные конструкции 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.	Каменные конструкции 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. Железобетонные конструкции Уменьшение сечения арматуры из-за коррозии более 15%. Снижение прочности бетона более 30%. Заниженная площадь опирания плит покрытия и перекрытия (менее 5 см). Стальные конструкции Коррозия с уменьшением расчетного сечения несущих элементов более 25%. Расстройство стыков со взаимным смещением опор.

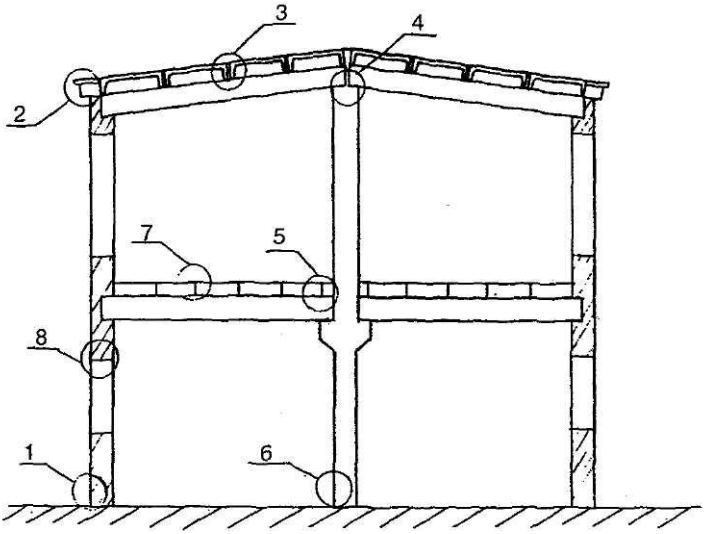


Рис. 17. Характерные повреждения конструкций многоэтажных промзданий: 1- расслоение кладки цоколя; 2- трещины и расслоение кладки карниза; 3- разрушение плит покрытия; 4- расстройство стыков ригелей; 5- расстройство стыков балок перекрытий; 6- коррозия арматуры железобетонных колонн; 7- разрушение плит перекрытия; 8- разрушение перемычек над окнами

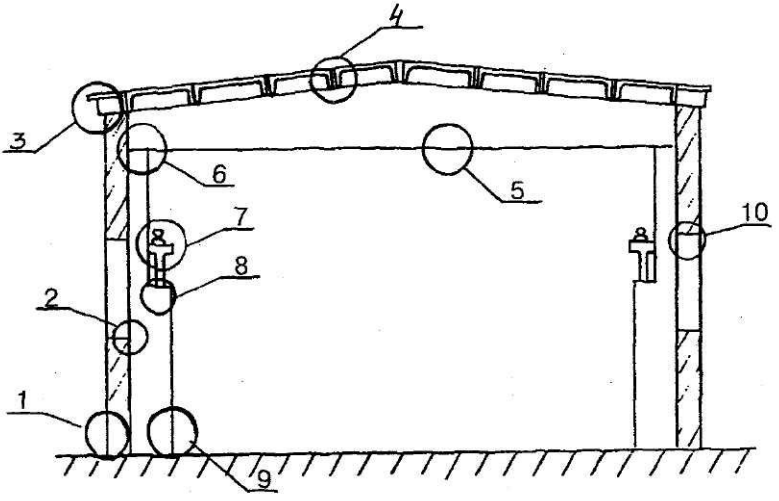


Рис. 18. Характерные повреждения конструкций одноэтажных промзданий: 1- расслоение кладки цоколя; 2- повреждение крепления стены к колонне; 3- трещины и расслоение кладки карниза; 4- разрушение железобетонных плит; 5- коррозия нижнего пояса пролетного строения; 6- трещины в опорном узле; 7- разрушение подкрановых балок; 8- разрушение креплений подкрановых балок к колоннам; 9- коррозия арматуры железобетонных колонн, механические повреждения; 10- разрушение перемычек над окнами

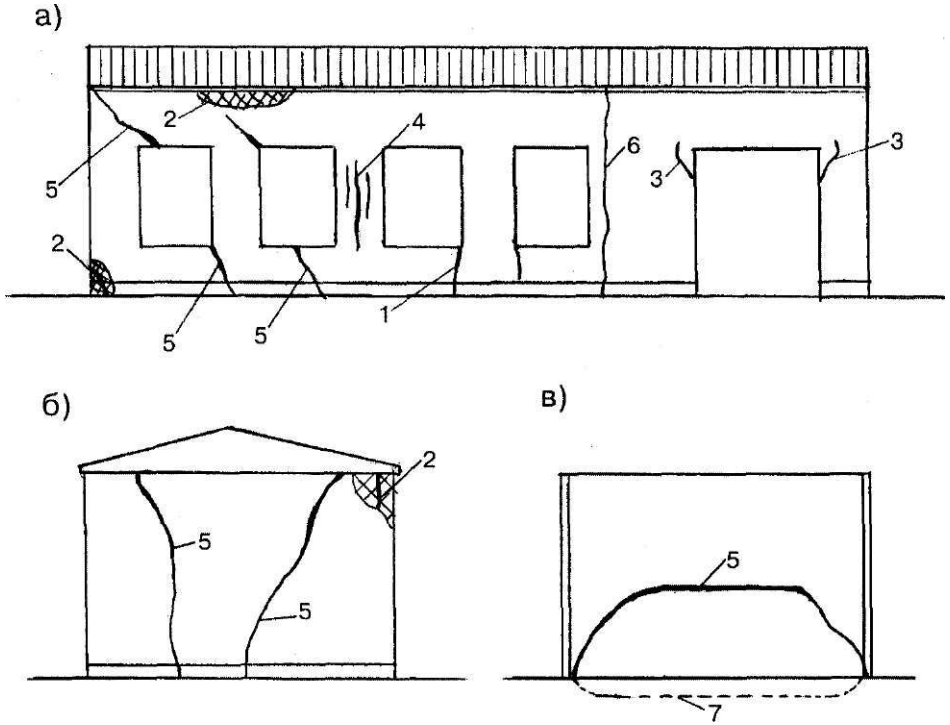


Рис. 19. Трещины в стенах одноэтажных зданий: а- в продольной несущей стене; б- в торцевой стене; в- в перегородке; 1- трещина от местного увлажнения грунта; 2- разрушение кладки, трещины от увлажнения; 3- трещина от температурных деформаций перемычки; 4- трещина от перенапряжения простенка; 5- трещина от неравномерных осадок фундаментов; 6- трещина от температурных деформаций при отсутствии температурных швов; 7- линия осадок фундаментов

Таблица

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	Железобетонные эстакады 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%.

Продолжение таблицы 8

1	2	3
2	Стальные эстакады 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 строений.

Таблица 9

Оценка технического состояния железобетонных емкостных сооружений по внешним признакам

Категория техниче-ского состояния сооружения	Признаки силовых воздействий	Признаки воздействия внешней среды
2	Трещины в растянутой зоне бетона до 0,3 мм.	Следы коррозии распределительной арматуры. Выщелачивание и частичное разрушение бетона в уровне жидкости. Отдельные механические повреждения бетона, не превышающие 5% сечения. Частичное разрушение антикоррозионного покрытия стальных закладных деталей и конструкций, на отдельных участках коррозия отдельными пятнами с поражением до 5% сечения. Разрушение отмосток вокруг сооружения.
3	Трещины в растянутой зоне бетона до 0,5 мм.	Образование продольных трещин вдоль арматуры от ее коррозии, местами обнажение арматуры из-за разрушения бетона, разрушение бетона на глубине защитного слоя . Пластинчатая ржавчина на стержнях оголенной арматуры в зоне продольных трещин в бетоне вдоль арматурных стержней или на закладных деталях, металлоконструкциях (коррозия стали до 10%) стен. Снижение прочности бетона стен, днища и покрытия до 20% и до 30% в прочих конструкциях. Разрушение бетона отдельных стыков сборных стен.
4	Наличие трещин шириной более 0,5 мм в стенах, днищах и покрытиях. Разрушение второстепенных конструкций: проходных мостиков, лотков и т.п. Неравномерные осадки и крен сооружения, заметные на глаз. Расстройство стыков сборных элементов покрытия со взаимным их смещением.	Отслоение и разрушение защитного слоя стены с оголением арматуры. Снижение прочности бетона стен и покрытия до 30%. Коррозия арматуры до 15% сечения. Коррозия закладных деталей до 25%. Потеря герметичности покрытия и стен.
5	Ширина раскрытия нормальных трещин в стенах, днище и покрытии более 1 мм. Выпучивание арматуры и смятие бетона в колоннах. Разрыв отдельных стержней рабочей арматуры в растянутой зоне. Прогибы изгибаемых элементов покрытия и стен более 1/50 пролета при наличии трещин в растянутой зоне.	Коррозия арматуры стен и покрытий более 15% сечения. Оголение всего периметра рабочей арматуры изгибаемых элементов стен и покрытия. Снижение прочности бетона более 30%. Коррозия стальных несущих закладных деталей более 30%.

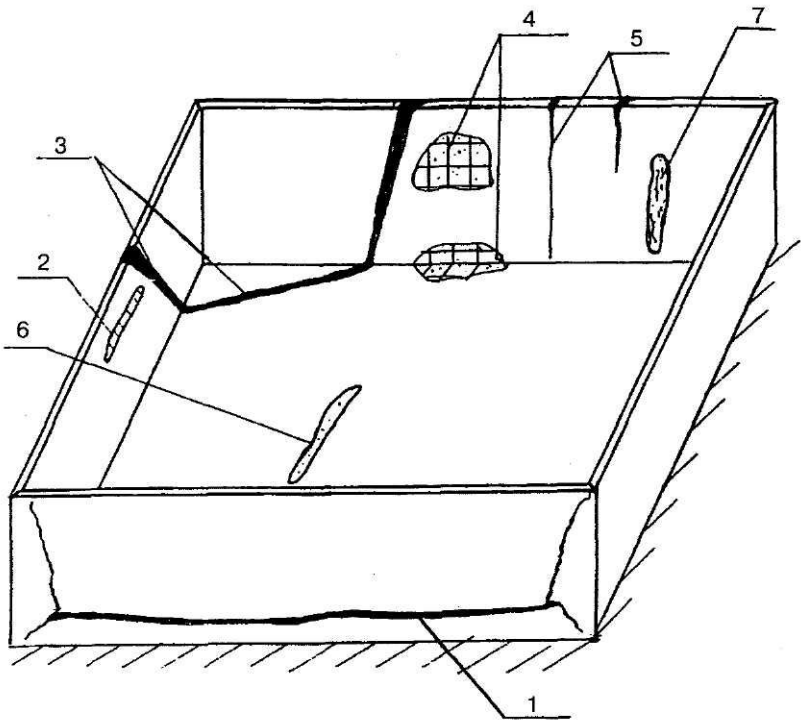


Рис. 20. Повреждения железобетонных емкостных сооружений: 1- трещины от перегрузки гидравлическим давлением; 2- разрушение бетона в уровне жидкости от размораживания; 3- трещины от неравномерной осадки; 4- отслоение защитного слоя и коррозия арматуры; 5- трещины от усадки бетона; 6- протечки в температурно-усадочном шве; 7- разрушение стыков панелей

Таблица 10

Оценка технического состояния стальных резервуаров по внешним признакам

Категория технического состояния сооружения	**Признаки силовых воздействий**	**Признаки воздействия внешней среды**
1	**2**	**3**
2	Равномерная осадка основания до 20 см. Разность осадок диаметрально противоположных точек контура днища до 80 мм. Разность осадок основания по периметру между смежными точками кольцевого фундамента, отстоящими друг от друга на расстоянии 6 м до 3 см. Крен резервуара до 0,002.	Разрушение местами антикоррозионного покрытия. Коррозия пятнами. Отдельные вмятины в корпусе и покрытии глубиной не более 50 мм. Выпучины и вмятины на поверхности стенки не превышают 40 мм.
3	Значительная до 30 см равномерная осадка резервуара. Разность осадок диаметрально противоположных точек контура днища до 10 см. Общий крен резервуара до 0,005. Выпучина и хлопун днища высотой до 200 мм на площади до 2 м^2.	Местная просадка под днищем глубиной не более 150 мм на площади не более 2 м, образование зазора между днищем и основанием от его осыпания. Выпучины и вмятины на поверхности стенок до 60 мм. Коррозия на отдельных участках или на всей длине вертикальных и горизонтальных сварных соединений внутренней поверхности стенки резервуара. Характер коррозии: точечные углубления осповидного типа и групп раковин глубиной от 2 до 3 мм, переходящие в сплошные полосы. Коррозия внутренней поверхности первого пояса стенки на значительной длине в зоне примыкания к днищу. Характер коррозии: группы раковин глубиной до 1,5 мм, а также точечные углубления осповидного типа. Пластинчатая ржавчина покрытия с уменьшением площади сечения элементов до 15%.

Продолжение таблицы 10

1	2	3
4	Равномерная осадка основания более 30 см. Общий крен резервуара до 0,02. Местная выпучина на первом поясе стенки резервуара, возникающая в результате осадки подводящего трубопровода. Выпучина-складка на днище с резкими перегибами и изломами, выпучины высотой более 200 мм на площади 2 м^2. Трещины в сварных швах конструкций покрытия длиной до 100 мм без выхода на основной металл. Потеря местной устойчивости покрытия от вакуума. Отрыв поясов полуферм покрытия от стенки резервуара. Центральная опорная стойка поднялась.	Зазоры между бетонным кольцом основания и окрайком днища до 100 мм на значительном протяжении. Коррозия днища и кровли до 35% сечения. Коррозия стен с уменьшением сечения до 25%. Выпучины и вмятины на поверхности стен более 60 мм.
5	Трещины в сварных швах днища и стен. Трещины в основном металле стен и днищ. Потеря устойчивости стен (гофры) из-за неравномерного крена. Разрушение конструкций покрытия. Общий крен резервуара более 0,02.	Зазоры между днищем и основанием более 100 мм на значительном протяжении. Коррозия стен резервуара более 25% сечения. Коррозия днища и кровли более 35%.

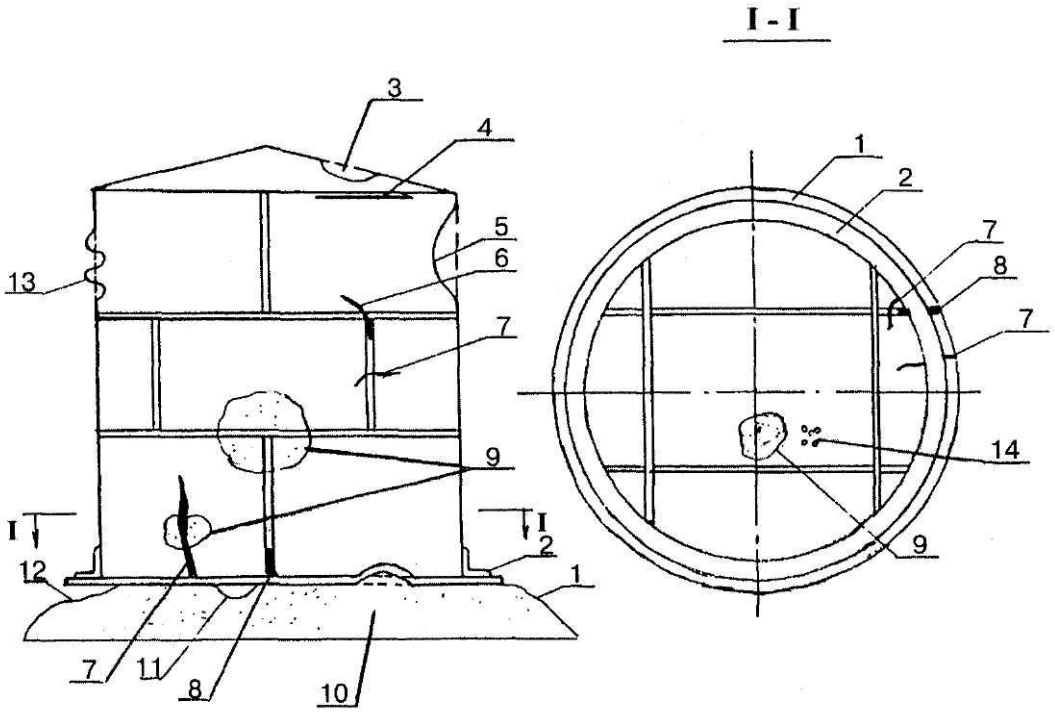


Рис. 21. Повреждения стальных резервуаров: а- разрез; б- план днища; 1- окрайка днища; 2- уторный уголок; 3- вмятина; 4- отрыв кровли от стены; 5- местная потеря устойчивости; б- трещина по сварному шву, выходящая на основной металл; 7- трещина по основному металлу; 8- трещина по сварному шву; 9- местная коррозия; 10- хлопун (выпучина); 11- местная просадка основания; 12- зазор между краем днища и основанием; 13- гофры; 14- сквозные коррозионные отверстия

Таблица 11

Оценка технического состояния стальных конвейерных галерей по внешним признакам

Категория технического состояния сооружения	Признаки силовых воздействий	Признаки воздействия внешней среды
1	2	3
2	Нет	Местное разрушение антикоррозионного покрытия. На отдельных участках коррозия пятнами с поражением до 5% сечения.
3	Прогибы балок и ферм превышают 1/150 пролета. Поперечные отклонения опор превышают 1/250 высоты опор до низа ферм.	Пластинчатая ржавчина с уменьшением из-за коррозии площади сечения элементов до 10%. Местные погнутости от ударов транспортных средств. Погнутость узловых фасонок ферм.
4	Потеря местной устойчивости конструкций (выпучивание стенок и поясов балок). Трещины в швах или околошовной зоне. Срез отдельных болтов в многоболтовом соединении. Сильная вибрация балок и ферм. Прогибы элементов превышают 1/75 пролета.	Коррозия элементов с уменьшением расчетного сечения несущих элементов до 25%. Отклонение ферм от вертикальной плоскости более 15 мм. Щелевая коррозия сочленяемых элементов (например, спаренных уголков ферм), приводящая к выпучиванию элементов и частичному разрушению сварных швов. Местные погнутости опор транспортными средствами. Отслоение защитного слоя бетона перекрытий.
5	Наличие трещин в основном металле, в особенности в растянутых и изгибаемых элементах. Прогибы балок и ферм более 1/50 пролета Потеря общей устойчивости балок и сжатых элементов ферм. Разрыв отдельных растянутых элементов.	Коррозия несущих конструкций более 25% сечения. Расстройство стыков со взаимным смещением опор.

Таблица 12

Оценка технического состояния железобетонных силосов по внешним признакам

Категория технического состояния сооружения	Признаки силовых воздействий	Признаки воздействия внешней среды
1	2	3
2	Трещины в стенах до 0,3 мм.	Следы коррозии распределительной арматуры. Изменение окраски бетона. Частичное разрушение антикоррозионного покрытия стальных закладных деталей и конструкций. Повреждение отмосток вокруг силосов.
3	Трещины в подсилосных воронках до 0,5 мм. Трещины вертикальные в стенах силосов с раскрытием до 0,8 мм при длине менее 1/4H, где H – высота стен силосов. Трещины горизонтальные с раскрытием до 1 мм, расположенные через 1–2 м по высоте. Средние осадки силосных корпусов более 40 см, а крен более 0,004.	Местами отслоение защитного слоя бетона стен. Коррозия арматуры до 10%. Местами обнажение арматуры из-за разрушения бетона.
4	Трещины в подсилосных воронках до 1 мм. Вертикальные трещины в стенах с раскрытием до 1 мм при длине трещин более 1/4H при количестве не более трех на одном силосе. Отдельные бреши в наружных стенах силосов размером 40×40 см без выпученностей бетона в зоне брешей и трещин, отходящих от брешей. Выпучивание стен силосов с отдельными трещинами. Выпучивание домкратных стержней. Крен силосного корпуса более 0,012.	Разрушение защитного слоя бетона с оголением арматуры. Коррозия арматуры до 15% сечения. Снижение прочности бетона фундаментной плиты до 30%. Уменьшение сечения стальных воронок от истирания до 25% их сечения.
5	Трещины в силосах с раскрытием более 1 мм при их длине более 1/4H. Горизонтальные трещины раскрытия более 0,5 мм через 15–30 см в надкапительной зоне или в простенках стен, над фундаментом плиты. Сетка пересекающихся горизонтальных и вертикальных трещин с раскрытием более 0,3 мм на отдельных участках. Смятие бетона по горизонтальным швам бетонирования в отдельных силосах. Бреши в наружных стенах силосов размером более 40×40 см при наличии выпученностей в зоне брешей. Выпучивание домкратных стержней с обрывами горизонтальной арматуры. Сдвиги участков стен силосов по горизонтальным плоскостям.	Коррозия арматуры более 15% сечения. Снижение прочности бетона фундаментной плиты более 30%. Уменьшение сечения стальных воронок от истирания более 25% сечения.

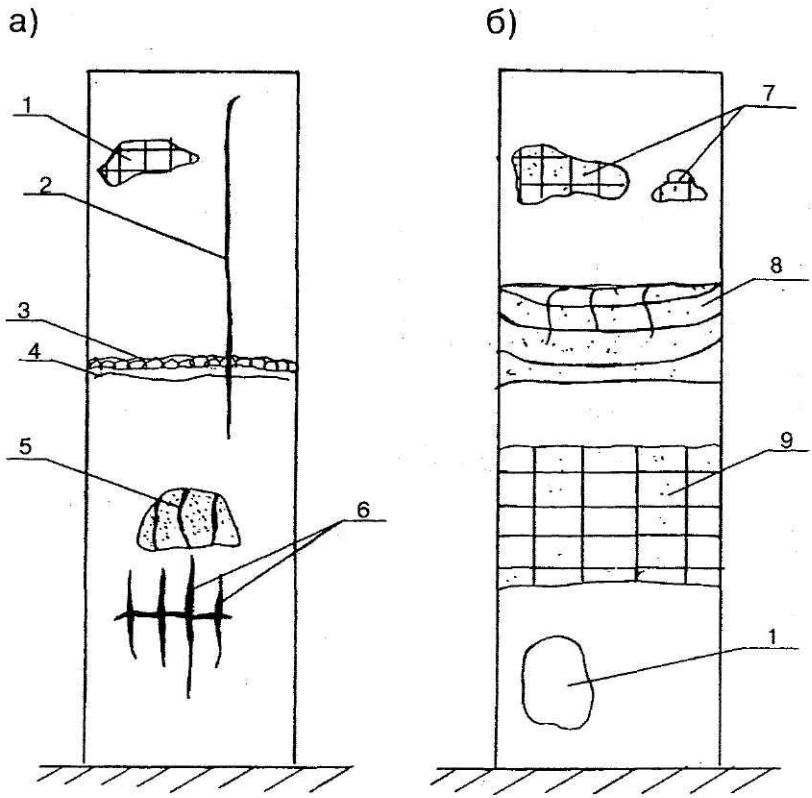


Рис. 22. Повреждения стен цилиндрических силосов: а- наружная поверхность; б- внутренняя поверхность; 1- бреши; 2- вертикальные трещины; 3- смятие бетона в горизонтальных швах бетонирования; 4- горизонтальная трещина; 5- выпучивание домкратных стержней; 6- горизонтальные и вертикальные трещины от перегрузки; 7- коррозионное разрушение бетона и арматуры; 8- разрушение защитного слоя от горячего сыпучего материала; 9- истирающий износ защитного слоя бетона

Таблица 13

Оценка технического состояния башенных градирен по внешним признакам

Категория технического состояния сооружения	Признаки силовых воздействий	Признаки воздействия внешней среды
1	2	3
2	Трещины не превышают 0,3 мм.	Местное разрушение защитного слоя бетона. Признаки разрушения бетона на входных окнах. Следы коррозии распределительной арматуры. Потеки конденсата на наружной поверхности оболочки. Зоны фильтрации и выщелачивания бетона в верхней части градирни. Антикоррозионное покрытие стальных конструкций и деталей разрушено.
3	Трещины в растянутой зоне бетона до 0,5 мм. Прогибы изгибаемых элементов превышают 1/150 пролета.	Продольные трещины в бетоне вдоль арматурных стержней от коррозии арматуры. Коррозия арматуры до 10% площади стержней. Разрушение бетона в зоне входных окон и в местах соприкасания с водой в резервуаре. Разрушение бетона в районе швов оболочки градирни. Обнажение арматуры оболочки в ряде мест с признаками ее коррозии особенно в местах стыков ярусов бетонирования. Небольшие сквозные отверстия в оболочке. Частичное разрушение торкрета внутренней поверхности оболочки. Коррозия стальных конструкций и деталей до 15%.

Продолжение таблицы 13

1	2	3
4	Ширина раскрытия нормальных трещин в балках не более 1 мм. Сквозные нормальные трещины в колоннах до 0,5 мм. Прогибы изгибаемых элементов до 1/50 пролета. Крен сооружения более 0,004.	Отслоение защитного слоя бетона и оголение арматуры большей части наружной поверхности оболочки. Разрушение защитного слоя бетона стоек наклонной колоннады бетона до 30%. Сквозные отверстия диаметром 30–200 мм в оболочке. Разрушение слоя торкрета на большей части внутренней поверхности. Зона фильтрации с выщелачиванием составляет 1/3 площади поверхности оболочки градирен. Коррозия арматуры до 15% сечения. Коррозия стальных конструкций до 25% сечения.
5	Ширина раскрытия нормальных трещин в балках более 1 мм. Косые трещины, пересекающие опорную зону балок. Сквозные наклонные трещины в сжатых элементах. Выпучивание сжатой продольной арматуры. Разрыв отдельных стержней рабочей арматуры в растянутой зоне. Разрыв хомутов в зоне наклонной трещины. Раздробление бетона в сжатой зоне. Прогибы изгибаемых элементов более 1/50 пролета. Потеря устойчивости отдельных конструкций.	Оголение всего периметра арматуры. Коррозия арматуры более 15% сечения. Снижение прочности бетона более 30%. Коррозия стальных конструкций более 25% сечения. Расстройство стыков со взаимным смещение опор.

Таблица 14

Оценка технического состояния кирпичных и железобетонных дымовых труб по внешним признакам

Категория технического состояния сооружения	**Признаки силовых воздействий**	**Признаки воздействия внешней среды**
1	**2**	**3**
2	Кирпичные трубы Трещины, пересекающие не более двух рядов кладки.	Антикоррозионное покрытие стальных конструкций и деталей разрушено.
3	Вертикальные трещины в кладке с шириной раскрытия до 1 мм. Крен трубы не превышает 0,004.	Коррозия стальных колец и металлоконструкций (лестницы, площадки) до 15%.
4	Сквозные вертикальные трещины в кладке с шириной раскрытия до 5 мм. Горизонтальные трещины в кладке длиной менее 1/3 периметра ствола трубы.	Бочкообразные выпучины кладки между стяжными кольцами. Приподнятие колпака оголовка трубы. Коррозия металлоконструкций до 25%.
5	Вертикальные трещины в кладке с шириной раскрытия более 5 мм. Горизонтальные трещины в кладке длиной более 1/3 периметра ствола трубы. Разрыв стяжных колец.	Разрушение оголовка и выпадение отдельных его звеньев и кирпичей. Кирпичная кладка выпучилась и покрыта трещинами. Связь кирпича с раствором нарушена. Коррозия металлоконструкций более 25%.
2	Железобетонные трубы Трещины не превышают 0,3 мм.	Шелушение защитного слоя бетона, местное разрушение защитного слоя бетона. Антикоррозионное покрытие стальных конструкций разрушено.

Продолжение таблица 14

1	2	3
3	Образование вертикальных трещин с шириной раскрытия до 0,5 мм. Крен трубы не превышает 0,005.	Образование вертикальных трещин над арматурой вследствие ее коррозии. Увлажнение бетона ствола с образованием потеков конденсата с выщелачиванием бетона. Коррозия арматуры до 10% площади стержней. Коррозия стальных конструкций до 15%. Коррозия футеровки на глубину более 5 мм, раствора более 15 мм. Наличие крупнопористого бетона или бетона с недостаточным количеством цементного камня по толщине ствола более 50 мм и от 1/8 до 1/6 окружности трубы. Вертикальные трещины в газоходах. Разрушение отмостки вокруг трубы.
4	Отслаивание защитного слоя от перегрузок в нижней зонс трубы. Крен трубы превышает 0,005. Образование вертикальных трещин с шириной раскрытия до 2 мм.	Разрушение, отслаивание защитного слоя бетона и оголение арматуры на длине окружности более 1 м. Разрушение бетона шва бетонирования в одном месте до 1/4 длины окружности. Коррозия арматуры до 15% сечения. Коррозия стальных конструкций до 25% сечения. Местами выпучивание футеровки.
5	Выпучивание вертикальных арматурных стержней ствола. Раздробление бетона сжатой зоны. Прогибы трубы более 1/100 высоты. Трещины в стволе более 2 мм.	Расслоение бетона по толщине стенки ствола. Разрушение шва бетонирования в одном месте более 1/4 длины окружности. Обвал футеровки. Коррозия арматуры более 15% сечения. Снижение прочности бетона более 30%. Коррозия стальных конструкций более 25% сечения. Сквозные разрушения ствола. Расслоение и выпучивание футеровки по всей поверхности.

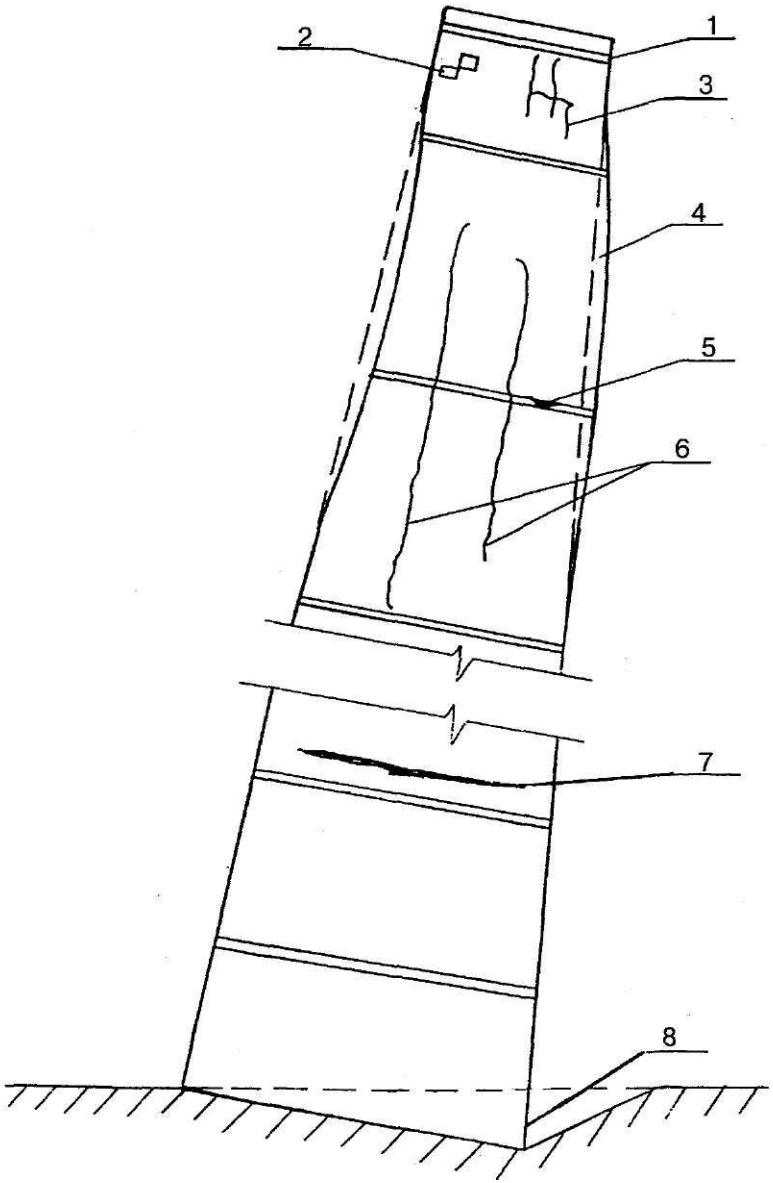


Рис. 23. Повреждения кирпичных дымовых труб: 1- приподнятие колпака из-за коррозии футеровки; 2- выпадение отдельных кирпичей; 3- трещины и расчленение оголовка; 4- искривление верхней части ствола из-за коррозии; 5- коррозия и разрыв стяжных колец; 6- вертикальные трещины; 7- горизонтальные трещины; 8- крен трубы из-за неравномерной осадки

Таблица 15

Оценка технического состояния железобетонных тоннелей по внешним признакам

Категория технического состояния сооружения	Признаки силовых воздействий	Признаки воздействия внешней среды
1	2	3
2	Трещины в бетоне с шириной раскрытия до 0,3 мм.	На отдельных участках с малой величиной защитного слоя проступают следы коррозии распределительной арматуры. На поверхности бетона мокрые или масляные пятна, высолы, изменение цвета бетона.
3	Трещины в растянутой зоне бетона до 0,5 мм	В отдельных местах отслоение защитного слоя бетона. Продольные трещины вдоль арматурных стержней от коррозии арматуры. Бетон в растянутой зоне на глубине защитного слоя крошится от размораживания. Протечки перекрытия тоннеля от повреждения гидроизоляции до 5% площади перекрытия. Смещение стенок сборных элементов тоннелей относительно друг друга, нарушение изоляции в стыках и деформационных швах, вследствие чего происходит протечка грунтовых вод. Повреждения от пробивки отверстий в перекрытии. Промасливание перекрытий и днища.
4	Ширина раскрытия нормальных трещин в конструкциях перекрытия до 1 мм. Прогибы изгибаемых элементов более 1/75 пролета. Трещины в местах стыков блоков до 10 мм от неравномерных осадок.	Отслоение защитного слоя бетона и оголение арматуры конструкций перекрытия на значительных площадях. Коррозия арматуры до 15% сечения. Протечки перекрытия свыше 15% общей площади перекрытия. Затопление тоннеля поверхностными водами.
5	Ширина раскрытия трещин в конструкциях перекрытия более 1 мм. Разрыв отдельных стержней арматуры в растянутой зоне. Прогибы изгибаемых элементов более 1/50 пролета. Разрушение отдельных конструкций перекрытия от перегрузки.	Оголение всего периметра арматуры. Коррозия арматуры более 15% сечения. Снижение прочности бетона более 30%.

Таблица 16

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.

Таблица 17

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

Оценка технического состояния каркасных зданий после землетрясения по внешним признакам Таблица 18

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.

Продолжение таблицы 18

1	2	3	4
4	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. 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. В некоторых навесных панелях трещины до 1 мм, отколы углов, подвижка панелей с выпадением раствора швов.	Массовые вертикальные, горизонтальные и косые сквозные трещины в перегородках с раскрытием до 5 мм, проломы. Отрыв некоторых перегородок от колонн и покрытия. Расслоение материала перегородок, смещение из плоскости.	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; трещины и выколы в продольных ребрах железобетонных плит покрытия; сдвижка 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. Местное (краевое) повреждение кладки на глубину до 2 см под опорами ферм и балок. Потеря устойчивости отдельных элементов стальных ферм. Обрыв отдельных связей. Повреждения отдельных сварных швов в местах опирания подкрановых балок на колонны.

Продолжение таблицы **18**

1	2	3	4
5	а) Массовые трещины в заполнении каркаса, раскрытие многих из них более 2 мм, в некоторых случаях заполнение полностью разрушено. 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. в) Обрушения отдельных стеновых панелей.	Массовые косые и крестовые трещины в перегородках с шириной раскрытия более 5 мм, обрушение многих перегородок.	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. Повреждение кладки под опорами ферм и балок в виде трещины, раздробления камня или смещение рядов кладки по горизонтальным швам. Выпучивание стальных ферм из своей плоскости. Обрушение отдельных конструкций.

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.

Таблица 19

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; зыбкость конструкции; прогибы свыше 1/50 пролета; трещины шириной раскрытия более 1 мм

Таблица 20

Оценка технического состояния стальных конструкций зданий после пожара по внешним признакам

Категория техниче-ского со-стояния	**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 трудносчищаемой окалины	Имеется сильное коробление
5	Отслоение местами слоя окалины. Образование толстого слоя окалины. 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.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бедов А.И., Сапрыкин В.Ф. Обследование и реконструкция железобетонных и каменных конструкций эксплуатируемых зданий и сооружений. - М.: Изд-воАСВ, 1995.-192 с.
2. Гроздов В.Т. Признаки аварийного состояния несущих конструкций зданий и сооружений. - СПб.: Издательский дом KN+, 200L- 48 с.
3. Добромыслов А.Н. Оценка надежности сооружений по показателям проекта, строительства и эксплуатации // Проектирование и расчет строительных конструкций: Сб. статей / ЛДНП. - СПб, 1988. - С. 28-34.
4. Добромыслов А.Н. Оценка эксплуатационной надежности строительных конструкций по внешним признакам// Проектирование и расчет строительных конструкций: Сб. статей / ЛДНП. - СПб, 1989. - С. 76-85.
5. Добромыслов А.Н. Расчет конструкций технологических эстакад с учетом времени эксплуатации // Инженерные сооружения промышленных предприятий: Сборник научных трудов/ ЦНИИпромзданий. - М., 1987. - С. 16-22.
6. Добромыслов А.Н. Анализ аварий промышленных зданий и инженерных сооружений // Промышленное строительство. - 1990. - № 9. С. 9-10.
7. Добромыслов А.Н. Анализ причин повреждений строительных конструкций при землетрясениях // Промышленное строительство. - 1991. - № 1. С. 23 - 25.
8. Добромыслов А.Н. Исследование надежности конструктивных систем // Промышленное строительство. - 1989, - № 12. С. 20 - 22.
9. Методические рекомендации по инженерному анализу последствий землетрясений. - М.: ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко, 1980. - 75 с.
10. Правила оценки физического износа жилых зданий. ВСН 53-86 (Р). - М.: Прейскурантиздат, 1988. - 69 с.
11. Пашкин Е.М., Бессонов Г.Б. Диагностика деформаций памятников архитектуры. - М.: Стройиздат, 1984. - 149 с.
12. Рекомендации по оценке надежности строительных конструкций по внешним признакам. - М.: ЦНИИпромзданий, 1989. - 112 с.
13. Рекомендации по обследованию и оценке технического состояния крупнопанельных и каменных зданий. - М.: ЦНИИСК им. В А Кучеренко, 1988. - 57 с.
14. Рекомендации по обследованию зданий и сооружений, поврежденных пожаром. - М.: Стройиздат, 1987. - 75 с.
15. Руководство по обеспечению долговечности железобетонных конструкций предприятий черной металлургии при их реконструкции и восстановлении. - М.: Стройиздат, 1982. - 112 с.
16. Руководство по наблюдению и оценке состояния элеваторных сооружений. - М.: ЦНИИпромзернопроект, 1979. - 57 с.
17. Сендеров Б.В. Аварии жилых зданий. - М.: Стройиздат, 1991. - 215 с.

18. СНиП 2.02.01 - 83*. Основания зданий и сооружений. - М.: Стройиздат, 1983. - 40 с.
19. СНиП 2.03.01 - 84*. Бетонные и железобетонные конструкции. - М.: Стройиздат, 1989. - 80 с.
20. СНиП II -22 - 81. Каменные армокаменные конструкции. - М.: Строй издат, 1983. -40 с.
21. СНиП II -23 - 81*. Стальные конструкции. М.: Стройиздат, 1989. - 96 с.
22. СНиП 2.01.07 - 85. Нагрузки и воздействия. - М.: Стройиздат, 1987. - 36 с.
23. Физдель И.А. Дефекты в конструкциях и сооружениях и методы их ус транения. - М.: Стройиздат, 1978. - 160 с.
24. Шкинев А.Н. Аварии на строительных объектах, их причины и способы предупреждения. - М.: Стройиздат, 1976. - 373 с.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ 3
1. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ 4
2. РАЗРУШЕНИЕ СООРУЖЕНИЙ ВСЛЕДСТВИЕ ПОСТЕПЕННЫХ ОТКАЗОВ 6
3. ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ДОЛГОВЕЧНОСТИ СООРУЖЕНИЙ 9
4. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ СООРУЖЕНИЙ ПО ВНЕШНИМ ПРИЗНАКАМ 11
5. РАЗРУШЕНИЕ СООРУЖЕНИЙ ВСЛЕДСТВИЕ ВНЕЗАПНЫХ ОТКАЗОВ..... 15
6. ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ВЕРОЯТНОСТИ АВАРИЙ 19
7. ИССЛЕДОВАНИЕ НАДЕЖНОСТИ КОНСТРУКТИВНЫХ СИСТЕМ СООРУЖЕНИЙ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ 24
8. ПРИЛОЖЕНИЕ. ТАБЛИЦЫ ДЛЯ ОЦЕНКИ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ЗДАНИЙ И ИНЖЕНЕРНЫХ СООРУЖЕНИЙ ПО ВНЕШНИМ ПРИЗНАКАМ 32
ЛИТЕРАТУРА 65

Редактор О.А. Таранова
Компьютерная графика и верстка Д.А. Матвеев

Лицензия ЛР № 0716188 от 01.04.98. Сдано в набор 17.01.2004.
Подписано к печати 23.04.2004. Формат 60x90/16.
Бумага офс. Гарнитура Тайме. Печать офсетная.
Усл. 4,5 п.л. Заказ № 2794. Тираж 1000 экз.
Отпечатано с готовых диапозитивов в ГУП МО «Мытищинская типография»
141009, г. Мытищи, ул. Колонцова, д. 17/2. Тел. 586-34-00.

Издательство Ассоциации строительных вузов (АСВ)
127337, Москва, Ярославское шоссе, 26, оф. 511
тел., факс: 183-57-42
e-mail: iasv@mgsu.ru