

Государственное образовательное учреждение  
Высшего профессионального образования  
Московский государственный строительный университет  
Ассоциация московских вузов

Утверждаю  
Проректор по УМР и МД

\_\_\_\_\_ Гагин В.И.  
« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2009 г.

## ОТЧЕТ

о выполнении подраздела мероприятий по социальному  
обслуживанию населения в части предоставления  
образовательных услуг жителям города Москвы

Подраздел №11.5.3.2. «Современные методы исследований  
и проектной оценки рисков аварий зданий и сооружений»  
(Научно-образовательный материал)

Научный руководитель подраздела	Рук. НТЦ «РиБоС»			Тамразян А.Г.
	Должность	Телефон	Подпись Дата	ФИО
Заместитель научного руководителя подраздела	Гл.инженер ОНИЛ КГК			Гафурова М.Ф.
	Должность	Телефон	Подпись Дата	ФИО

Москва, 2009 г.

Под научным руководством и при непосредственном участии руководителя НТЦ «Риск и безопасность сооружений», профессора Тамразяна А.Г. (отв. исп. гл.инженер Гафурова М.Ф.) в рамках подраздела 11.5.3.2. были разработаны, коллегиально рассмотрены и протестированы, а также вручены для практического использования заинтересованным специалистам строительного комплекса Москвы научно-информационные и научно-образовательные материалы в области современных методов исследований и проектной оценки рисков аварий зданий и сооружений

## СОДЕРЖАНИЕ

	Стр.
ВВЕДЕНИЕ	4
1. Цель подраздела и его актуальность	5
2. Решаемые задачи подраздела	6
3. Разрушения сооружений вследствие постепенных отказов	7
4. Прогнозирование долговечности сооружений	11
5. Разрушения сооружений вследствие внезапных отказов	13
6. Прогнозирование вероятности (риска) аварий	15
7. Прогнозирование деформаций сооружений	21
Рекомендуемая литература	25

## ВВЕДЕНИЕ

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, медленным изменением грунтовых условий строительной площадки: ползучестью грунта, изменением уровня грунтовых вод, коррозионным воздействием грунтовых вод.

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 с учетом накопления в них повреждений от ползучести, коррозии и пр.

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.

Анализируя данные об авариях, 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  $2,4 \cdot 10^{-6}$ ).

## **1.ЦЕЛЬ ПОДРАЗДЕЛА И ЕГО АКТУАЛЬНОСТЬ**

При эксплуатации зданий и сооружений, а также при их обследовании для оценки риска аварий и технического состояния широко применяются визуальные обследования и экспертиза проектов.

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

Целью подраздела является учет влияния повреждений на надёжность конструкций и риск аварий зданий и сооружений.

Своевременная оценка технического состояния и надёжности зданий и сооружений позволит вовремя провести их ремонт и усиление и тем самым обеспечить их надёжность и безопасность при эксплуатации.

Не менее актуальным является экспертиза зданий или сооружений на предрасположенность к аварии. Выявление таких объектов по предлагаемой в подразделе методике оценки риска аварий зданий и позволит эксперту критически подойти к их надёжности и принять дополнительные мероприятия по её повышению.

## 2. РЕШАЕМЫЕ ЗАДАЧИ ПОДРАЗДЕЛА

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

Одной из главных задач при строительстве и эксплуатации зданий и сооружений является обеспечение надёжности гарантирующей их безаварийность.

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

Долговечность сооружений оценивается и прогнозируется продолжительностью его работоспособного состояния при установленной системе ремонта. Долговечность определяется сроком службы основных конструкций.

Наиболее опасны внезапные отказы. Они сопровождаются мгновенным обрушением конструкций. Основными причинами внезапных отказов являются грубые ошибки, допущенные при разработке проекта, в процессе строительства и эксплуатации. Избежать внезапных отказов можно путём их прогнозирования и ликвидации допущенных ошибок.

Мерой надёжности сооружения служит его вероятность разрушения или риск аварии (частота вероятного разрушения в год).

При эксплуатации и проектировании сооружений бывает необходимым определить поведение конструкций сооружения со временем.

Оценивая по результатам натурных обследований изменение прочностных свойств конструкций за определенный промежуток времени можно прогнозировать деформации сооружений получить постоянную износа.

### 3. РАЗРУШЕНИЯ СООРУЖЕНИЙ ВСЛЕДСТВИЕ ПОСТЕПЕННЫХ ОТКАЗОВ

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.

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.

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  $\gamma_m$ , нагрузкам  $\gamma_f$ , условию работы  $\gamma_c$  и назначению  $\gamma_n$ , которые могут быть приведены к полному коэффициенту надежности (запаса) конструкции  $\gamma_0 = \gamma_m \cdot \gamma_f \cdot \gamma_c \cdot \gamma_n$ .

Так, для сравнительных расчетов, указанные коэффициенты по отношению к математическим ожиданиям соответствующих величин в среднем могут быть приняты:  $\gamma_f = 1,2$ ,  $\gamma_n = 1$ ,  $\gamma_c = 1$ ,  $\gamma_m = \gamma_s / (1 - 1,64 \cdot C_v) = 1,1 / (1 - 1,64 \cdot 0,07) = 1,24$  - для стальных и железобетонных конструкций, разрушающихся по арматуре;  $\gamma_m = \gamma_b / (1 - 1,64 \cdot C_v) = 1,3 / (1 - 1,64 \cdot 0,135) = 1,67$  - для железобетонных конструкций, разрушающихся по бетону, где  $\gamma_b$  и  $\gamma_s$  - 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  $\gamma_0 = 1,2 \cdot 1,24 \cdot 1 = 1,5$ ; для железобетонных конструкций, разрушающихся по бетону  $\gamma_0 = 1,2 \cdot 1,67 \cdot 1 = 2$  и в среднем составят  $\gamma_0 = (1,5 + 2) / 2 = 1,75$ .

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

$\gamma_0 = \gamma_m \cdot \gamma_f \cdot \gamma_c \cdot \gamma_n = \gamma_0 = \gamma_{m1} \cdot \gamma_{m2} \cdot \gamma_f \cdot \gamma_c \cdot \gamma_n$  и соответственно составил 1,5 и 2 при разрушении конструкций по арматуре и бетону.

Так, в сравнительных расчетах указанные коэффициенты в среднем были приняты:  $\gamma_c = 1$ ,  $\gamma_f = 1,2$ ,  $\gamma_n = 1$ , а  $\gamma_{m1} = 1,1$ ,  $\gamma_{m2} = 1,3$  — коэффициенты надежности по арматуре и бетону, устанавливаемые СНиП относительно браковочных минимумов материалов;  $\gamma_{m2} = 1,13$ ,  $\gamma_{m2} = 1,28$  — соответственно коэффициенты надежности по арматуре и бетону браковочных минимумов относительно их математических ожиданий.

Исчерпание коэффициента  $\gamma_{m1}$  (т.е.  $\gamma_{m1} = 1,1$ ) может быть допущено при нормальной работе конструкции и удовлетворительном ее состоянии, т.к. в этом случае конструкция сохраняет принятый нормами браковочный мини-



мум прочностных характеристик материала. В этом случае коэффициенты надежности при разрушении по арматуре или бетону будут соответственно  $\gamma = 1,35$  или  $\gamma = 1,54$ , а относительная надежность  $y = \gamma / \gamma_0 = 0,9 \dots 0,77$ .

Выражая величину повреждения конструкции  $\varepsilon = 1 - y$ , будем иметь для этого случая допустимую величину поврежденности в пределах  $\varepsilon = 0,1 \dots 0,23$ , что в среднем будет соответствовать  $\gamma_{\text{ш1}} = 0,15$  или 15% от нормативной величины математического ожидания надёжности конструкции.

Для конструкций аварийного состояния будут полностью использованы резервы прочности ее материала, т. е.  $\gamma_{\text{м1}} = 1$ ,  $\gamma_{\text{м2}} = 1$ , в то время как резерв по нагрузке может оставаться еще  $\gamma_f = 1,2$ . Для аварийного состояния конструкции  $\gamma$  будет меняться в пределах от 1,2 до 1 (в момент разрушения  $\gamma < 1$ ).

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  $\gamma$ , относительной надежности  $y$  и средних при этом повреждений  $\varepsilon$  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.

**Значения характеристик надежности  $\gamma$  и  $\varepsilon$  от состояния конструкций**

Характеристики	Эксплуатационное состояние конструкций		
	Удовлетворительное	Неудовлетворительное	Аварийное
Полный коэффициент надежности $\gamma$ при разрушении по: арматуре бетону	$>1,35$ $>1,54$	1,21...1,35 1,21... 1,54	1...1,2 1...1.2
Относительная надежность $\gamma = \gamma/\gamma_0$	$> (0,77... 0,9)$	0,61...0,9	0,5...0,8
Средняя относительная надежность $\gamma$	0,85	0,75	0,65
Средняя величина поврежденности $\varepsilon = 1 - \gamma$	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.

#### 4. ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ДОЛГОВЕЧНОСТИ СООРУЖЕНИЙ

На рис. 1 показаны кривые изменения надежности сооружения. Как показывают исследования [2], изменение несущей способности сооружения за время эксплуатации может быть описано экспоненциальным законом.

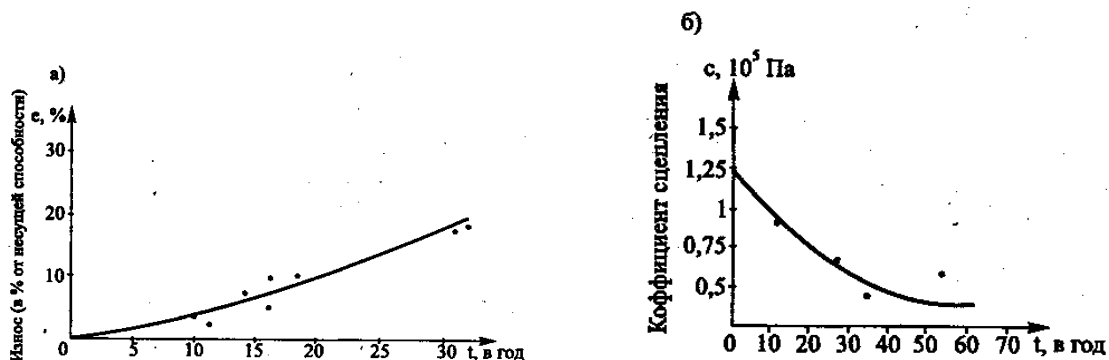


Рис. 1. Изменение надежности сооружений со временем: а- снижение несущей способности железобетонных эстакад; б- снижение сцепления глинистых грунтов в результате ползучести (по данным разрушения подпорных стен)

Выражение надежности  $\gamma$  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  $\lambda$  - 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 натуральных 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  $\lambda$  - постоянная износа, вычисляемая по формуле (2), по данным обследования на основании изменения несущей способности в момент обследования, определяемая по категории технического состояния конструкции в зависимости от повреждений по табл. 2,  $t_a$  - срок эксплуатации годах до аварии.

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

$$t = 0,2/\lambda. \quad (6)$$

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 установлена величина поврежденности сооружения  $\varepsilon = 0,14$ .

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:  $t = 0,2/\lambda = 0,2/0,015 = 13,3$  лет,

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

## 5. РАЗРУШЕНИЯ СООРУЖЕНИЙ ВСЛЕДСТВИЕ ВНЕЗАПНЫХ ОТКАЗОВ

Для выявления причин возникновения аварий в работе [1] 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  $-1,4 \cdot 10^{-4}$ , а для инженерных сооружений  $1,5 \cdot 10^{-5}$ , причем вероятность аварий, вызванных неблагоприятным разбросом прочности конструкций и нагрузок, составила в среднем  $2 \cdot 10^{-6}$  [3].

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.

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.);

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;

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.

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.

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

## 6. ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ВЕРОЯТНОСТИ (РИСКА) АВАРИЙ

Исследование причин аварий послужило основанием для попытки оценить их возможность возникновения на основе формализованного анализа условий, влияющих на надежность сооружения [4].

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, нагрузок и фактических условий работы и эксплуатации объекта, учета сопротивляемости сооружения случайным воздействиям;

2) недостаточной апробированности конструктивного решения (наличия построенных аналогичных сооружений, значительного отличия размеров 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, недостатка времени или средств на проектирование.

Некачественное строительство объектов может возникнуть вследствие:

5) применения материалов и конструкций, не соответствующих проекту;

6) низкого качества строительно-монтажных работ;

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, отступлений от первоначального проекта;

Некачественная эксплуатация может возникнуть вследствие:

12) завышения проектных нагрузок;

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

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

Анализ аварий показал, что при несоблюдении условий, указанных выше, возможна авария сооружения.

Определение вероятности аварии производится на основании анализа условий, влияющих на надежность сооружений, используя экспертные оценки, что не исключает применения расчетных данных или данных натуральных 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. 3 примера расчета).

В таблице 3 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

$\beta = \frac{P_i}{5}$ , 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. 2).

Таблица 2

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

<b>Условная надежность <math>\beta</math></b>	<b>Вероятность (частота) аварий в год</b>	<b>Словесная шкала оценки надежности</b>
1,0	$10^{-6}$	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. 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 следующее:

- 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 превышения 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 3 проведена оценка условной надежности силоса.

Таблица 3

*Экспертная оценка надежности силоса*

№	Условие надежности	Удельный вес условия	Оценка в баллах					Удельная надежность	Обоснование принятого решения
			1	2	3	4	5		
1	Соответствие расчетной модели сооружения и нагрузок дейст-	0,05			3			0,15	Недостаточно в нормах был изучен коэффициент

	вительной работе								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, наличие достаточного времени и средств на проектирование	0,1				4		0,4	Типовой проект
<i>Качество строительства</i>									
5	Соответствие материалов и конструкций проекту	0,005	1					0,005	Допускались перерывы в бетонировании. Укладка арматуры проводилась не по шаблону
6	Качество строительно- монтажных работ	0,1	1					0,1	Тоже
7	Апробированность методов строительства	0,05		2				0,1	Организация не имела опыта строительства силосов
8	Контроль качест- ва строительства	0,1		2				0,2	Качество проверялось нерегулярно
9	Квалификация кадров	0,1	1					0,1	Строительство велось неквалифи- цированными

									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
<i>Качество эксплуатации</i>									
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	Тоже
14	Соблюдение правил эксплуатации	0,1	1					0,1	Проводилась эксплуатация с опасными повреждениями
		$\Sigma=1$						P=2,0	

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

Условная надежность силоса  $\beta = \frac{P}{5} = 0.4$ .

В соответствии с табл. 3 условная надежность  $\beta = 0,4$  соответствует вероятности аварии в год и составляет  $Q = 10^{-3}$ , 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. ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ДЕФОРМАЦИЙ СООРУЖЕНИЙ

При эксплуатации и проектировании сооружений бывает необходимым определить поведение конструкций сооружения со временем.

На рис. 2 а показана характерная деформация сооружения во времени, на которой можно выделить три стадии работы:

1 стадия - стадия загрузки сооружения продолжительностью обычно до 1 года, при которой происходит в основном приработка и упругая работа конструкций; 2 стадия - стадия эксплуатации продолжительностью несколько десятилетий, при которой происходит процесс накопления повреждений и неупругих деформаций во времени. Работа конструкций происходит от эксплуатационных нагрузок в основном в упругой стадии; 3 стадия - стадия аварийного разрушения, обычно наблюдаемая в течение нескольких дней, сопровождаемая лавинообразным ростом деформаций.

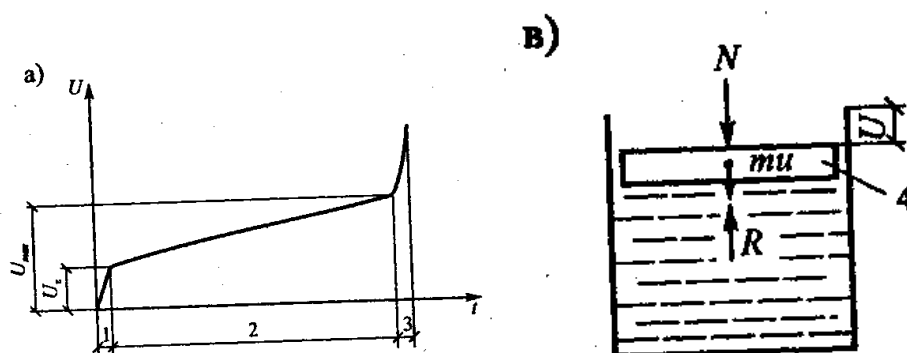


Рис 2. Расчетная модель работы конструкции во времени

Для составления кинетического уравнения деформирования во времени примем расчетную модель сооружения (рис. 2в) в виде цилиндра, наполненного несжимаемой жидкостью, которая может вытекать через зазор между поршнем и стенкой цилиндра.

Со временем поперечное сечение поршня за счет износа уменьшается, тем самым увеличивая скорость истечения жидкости.

Пусть к рассматриваемой системе приложена нагрузка  $N$ , под действием которой поршень массой  $m$  перемещается. Из равновесия сил в заданный момент времени получим уравнение деформирования:

$$N + ma = R, \quad (7)$$

$a = \frac{d^2u}{dt^2}$  - ускорение движения,

$u$  - перемещение,  $t$  - время в годах,  $R$  - опорная реакция.

Примем, что сжатая давлением опорной реакции  $R$  жидкость вытекает через зазор между стенкой и поршнем со скоростью истечения  $\dot{u} = \frac{du}{dt}$ , прямо пропорционально силе сжатия  $R = \eta(t)\dot{u}$ , где  $\eta$  - коэффициент вязкости жидкости.

Примем, что прочность и деформативность сооружения (площадь поршня) вследствие износа изменяется по экспоненциальному закону.

Тогда для заданного момента времени  $t$  выражение (7) примет вид:

$$N + ma = \eta e^{-\lambda t} \dot{u}; \quad (8)$$

где  $\lambda$  - постоянная износа.

В реальных конструкциях скорость перемещения при постепенном накоплении повреждений представляет собой величину очень малую, поэтому силами инерции от массы можно пренебречь, принимая  $ma'' = 0$ .

Тогда выражение (8) примет вид:

$$N = \frac{\eta e^{-\lambda t} du}{dt} \quad (9)$$

Откуда  $N dt / \eta e^{-\lambda t} = du$ .

Произведем преобразование и интегрирование выражения

$$\int \frac{N e^{\lambda t} dt}{\eta} = \int du$$

После интегрирования левой и правой части выражения получим:

$$u = N e^{\lambda t} / \eta \lambda + C. \quad (10)$$

Из граничных условий для времени  $t = 0$ , при котором  $u = 0$ , определяем постоянную интегрирования:

$$0 + N/\eta\lambda + C; \quad C = -N/\eta\lambda. \quad (11)$$

Подставляя  $C$  в (10) и заменяя  $N/\eta = \beta$ , где  $\beta$  - коэффициент деформативности, получим основное кинетическое уравнение:

$$u = \beta (e^{\lambda t} - 1)/\lambda. \quad (12)$$

Преобразовывая (4.5) и логарифмируя, получим:

$$u\lambda/\beta + 1 = e^{\lambda t}; \quad \ln(u\lambda/\beta + 1) = \lambda t; \quad t = \ln(u\lambda/\beta + 1)/\lambda. \quad (13)$$

Зная на основе экспериментальных данных относительную деформацию конструкций  $u = u_a$ , при разрушающей нагрузке из (12), можно получить коэффициент деформативности конструкции:

$$\beta = \lambda u_a (e^{\lambda t_s} - 1) \quad (14)$$

где  $t_s$  - срок эксплуатации конструкции до разрушения.

Перейдем теперь к оценке прочности и деформативности эксплуатируемых конструкций. Для экспоненциального закона изменения нормативной прочности конструкции  $\gamma_0$  прочность конструкций в заданный момент времени будет:

$$\gamma = \gamma_0 \cdot e^{-\lambda t}. \quad (15)$$

В относительных величинах

$$y = \gamma / \gamma_0 = e^{-\lambda t} \quad (16)$$

где величина  $y$  характеризует относительную надежность конструкции по отношению к нормативной надежности. Прологарифмировав (16), получим

$$\lambda = \ln y / t, \quad (17)$$

или

$$t = -\ln y / \lambda. \quad (18)$$

Оценивая по результатам натуральных обследований изменение прочностных свойств конструкций за определенный промежуток времени по формуле (17), можно получить постоянную износа.

В момент разрушения полный коэффициент надежности  $\gamma_0 = 1$ , что отвечает относительной надежности

$$y = \gamma / \gamma_0 = 1 / 1,75 = 0,6 \quad (19)$$

Подставляя значение  $y = 0,6$  в выражение (18), получим время до разрушения сооружения:

$$t_a = 0,5 / \lambda \quad (20)$$

Полученные выше зависимости позволяют количественно оценивать эксплуатационную пригодность конструкций во времени, что способствует повышению их надежности.



### **Рекомендуемая литература:**

- 1.Бедов А.И., Сапрыкин В.Ф. Обследование и реконструкция железобетонных и каменных конструкций эксплуатируемых зданий и сооружений. - М.: Изд-во АСВ,1995.-192с.
- 2.Добромыслов А.Н. Расчет конструкций технологических эстакад с учетом времени эксплуатации //Инженерные сооружения промышленных предприятий: Сборник научных трудов ЦНИИпромзданий.-М., 1987.-С.16-22.
- 3.Булгаков С.Н., Тамразян А.Г., Степанов А.Ю., Рахман И.А.Снижение рисков в строительстве при чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера. Монография. М.:МАКС Пресс, 2004. 304стр.
4. Тамразян А.Г. Оценка риска и надёжности несущих конструкций и ключевых элементов – необходимое условие безопасности зданий и сооружений. Вестник ЦНИИСК №1, 2009, стр.160-171.