

# АНАЛИЗ НАДЕЖНОСТИ И ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ЭКСПЛУАТИРУЕМЫХ ЗДАНИЙ

Автор: Алексей ХИЦЕНКО

Технический Университет Молдовы

***Резюме:** В данной статье рассмотрены проблемы оценки надежности и установки технического состояния эксплуатируемых зданий и сооружений. Мною были собраны различные данные о разрушениях сооружений вследствие возникновения постепенных отказов. Помимо этого, в статье затронута проблема прогнозирования долговечности зданий и сооружений.*

***Ключевые слова:** надежность строительного объекта, отказ, запас прочности, долговечность, авария, прогнозирование повреждений*

## 1. Введение

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 ремонтпригодность.

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.

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.

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.

## 2. Расчет сооружений на надежность

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:

$$\gamma_o = \gamma_m * \gamma_c * \gamma_f * \gamma_n \quad (1)$$

Так, для сравнительных расчетов, указанные коэффициенты по отношению к математическим ожиданиям соответствующих величин в среднем могут быть приняты:

$$\gamma_f = 1,2, \gamma_n = 1, \gamma_c = 1, \gamma_m = \gamma_s / (1 - 1,64C_v) = 1,1 / (1 - 1,64 - 0,07) = 1,24 \quad (2)$$

- для стальных и железобетонных конструкций, разрушающихся по арматуре;

$$\gamma_m = \gamma_b / (1 - 1,64C_v) = 1,3 / (1 - 1,64 - 0,135) = 1,6 \quad (3)$$

- 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:

$$\gamma_o = 1,2 * 1 * 1,24 * 1 = 1,5 \quad (4)$$

для железобетонных конструкций, разрушающихся по бетону:

$$\gamma_o = 1,2 * 1 * 1,67 * 1 = 2 \quad (5)$$

и в среднем составят:

$$\gamma_o = (1,5 + 2) / 2 = 1,75 \quad (6)$$

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:

$$\gamma_o = \gamma_m * \gamma_c * \gamma_f * \gamma_n = \gamma_{m1} * \gamma_{m2} * \gamma_c * \gamma_f * \gamma_n \quad (7)$$

и соответственно составил 1,5 и 2 при разрушении конструкций по арматуре и бетону.

Так, в сравнительных расчетах указанные коэффициенты в среднем бы-ли приняты:  $\gamma_c=1$ ,  $\gamma_f=1,2$ ,  $\gamma_n=1$ , а  $\gamma_{m1}=1,1$ ,  $\gamma_{m1}=1,3$  — 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 минимум 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  $y = \gamma/\gamma_0 = 0,9...0,77$ . Выражая величину повреждения конструкции  $\varepsilon = 1 - y$ , будем иметь для этого случая допустимую величину повреждения в пределах  $\varepsilon = 0,1... 0,23$ , что в среднем будет соответствовать  $\gamma_{m1} = 0,15$  или 15% от нормативной величины математического ожидания надежности конструкции.

Для конструкций аварийного состояния будут полностью использованы резервы прочности ее материала, т. е.  $\gamma_{m1} = 1, \gamma_{m2} = 1$ , в то время как резерв по нагрузке может оставаться еще  $\gamma_f = 1,2$ . Для аварийного состояния конструкции  $y$  будет меняться в пределах от 1,2 до 1 (в момент разрушения  $\gamma < 1$ ).

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 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. Значение характеристик надежности  $y$  в зависимости от состояния конструкции

Характеристики	Эксплуатационное состояние конструкций		
	Удовлетворительное	Неудовлетворительное	Аварийное
Полный коэффициент надежности $\gamma$ при разрушении по: арматуре бетону	$>1,35$	1,21...1,35	1...1,2
	$>1,54$	1,21...1,54	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 повреждения $\varepsilon=1-y$	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.

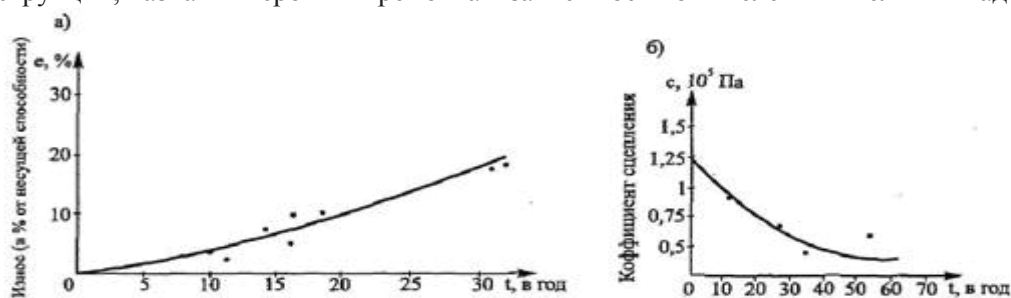


Рис. 1 Изменение надежности сооружений со временем: а – снижение несущей способности железобетонных эстакад; б – снижение сцепления глинистых грунтов в результате ползучести (по данным разрушения подпорных стен)

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

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

$$y = \gamma / \gamma_0 = e^{-\lambda t} \quad (8)$$

Прологарифмировав(8), получим

$$\lambda = -\ln / t \quad (9)$$

где  $\lambda$  – постоянная износа или

$$t = -\ln / \lambda, \quad (10)$$

где  $t$  – срок эксплуатации в годах на момент обследования  
Величина повреждения строительных конструкций через  $t$  лет ее эксплуатации будет

$$\varepsilon = 1 - e^{-\lambda t} \quad (11)$$

Оценивания по результатам натурных обследований изменение надежности или прочностных свойств конструкций сооружения за определенных промежутков времени по формуле (9) можно определить постоянную износа.

Для конструкций в момент разрушения  $y=0,65$ . Подставляя значение  $y$  в выражение (10), получим время до разрушения сооружения (время наступления аварийного состояния)

$$t_a = 0,5 / \lambda \quad (12)$$

где  $\lambda$  – постоянная износа, вычисляемая по формуле (9), 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 в годах до аварии.

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.

### 3. Выводы

Исходя из всего вышесказанного, можно сделать вывод о том, что углубленное изучение проблем, поднятых в данной статье, сможет вывести надежность зданий и сооружений на новый уровень и существенно уменьшить вероятность возникновения аварий.

### Библиография

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* Сб. статей ЛДНП. - СПб, 1988. - С. 28-34.