

4. *ГОСТ 12004–81*. Сталь арматурная. Методы испытания на растяжение; введ. 01.07.83. — М.: Стандартиформ, 2009. — 12 с.
5. *ГОСТ 10180–90*. Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам; введ. 01.01.91. — М.: Стандартиформ, 2006. — 31 с.
6. *ГОСТ 22690–88*. Бетоны. Определение прочности механическими методами неразрушающего контроля; введ. 01.01.91. — М.: Стандартиформ, 2010. — 20 с.
7. *ГОСТ 8829–94*. Изделия строительные железобетонные и бетонные заводского изготовления. Методы испытаний нагружением. Правила оценки прочности, жесткости и трещиностойкости; введ. 01.01.98. — М.: Госстрой России, ГУП ЦПП, 1997. — 33 с.
8. *ГОСТ 5802–86*. Растворы строительные. Методы испытаний; введ. 01.07.86. — М.: Стандартиформ, 2010. — 20 с.
9. *ГОСТ 8462–85*. Материалы стеновые. Методы определения пределов прочности при сжатии и изгибе; введ. 01.07.85. — М.: Изд-во стандартов, 2001. — 7 с.
10. *ГОСТ 7564–97*. Прокат. Общие правила отбора проб, заготовок и образцов для механических и технологических испытаний; введ. 01.01.99. — М.: Изд-во стандартов, 2004. — 13 с.
11. *ГОСТ 1497–84*. Металлы. Методы испытаний на растяжение; введ. 01.01.86. — М.: Стандартиформ, 2008. — 24 с.
12. *ГОСТ 5180–84*. Грунты. Методы лабораторного определения физических характеристик; введ. 01.07.85. — М.: Стандартиформ, 2005. — 19 с.

aaarostov@rambler.ru

Материал поступил в редакцию 13 октября 2015 г.

УДК 69.059.22

© Коллектив авторов, 2015

### Прогнозирование деформаций сооружений

**В.Ф. Катренко,**  
инженер

**К.Б. Ктитров,**  
нач. лаборатории

**Л.М. Мельников,**  
нач. отдела

**А.И. Келеберда,**  
инженер-эксперт

**В.Б. Кузнецов,**  
эксперт

ООО «Контакт»

**Установление прочностных и деформационных свойств конструкций для дальнейшей эксплуатации, срока службы и ремонта сооружения в ходе его технического освидетельствования.**

**Ключевые слова:** нагрузка, прочность, деформация сооружения, срок эксплуатации.

**П**ри эксплуатации и проектировании сооружений бывает необходимо проявить поведение конструкций сооружений со временем [1–2]. Техническое освидетельствование сооружений позволяет установить их прочностные и деформационные свойства на момент обследования. Однако для заключения о дальнейшей эксплуатации, установления

срока службы и ремонта сооружения необходимо знать изменения этих свойств со временем с учетом накопления в них повреждений от ползучести, коррозии и пр.

На рис. 1, а показана характерная деформация сооружения во времени, для которой можно выделить три стадии работы:

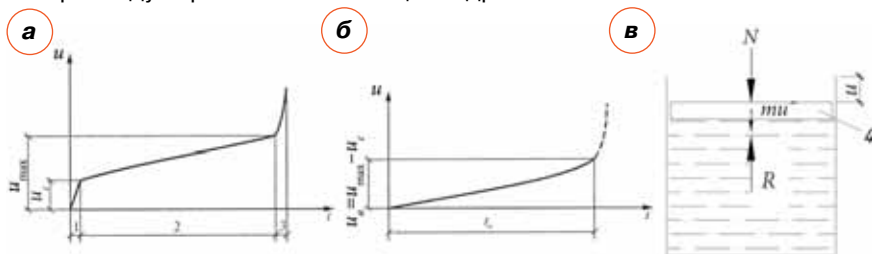
1 стадия — загрузка сооружения продолжительностью обычно до 1 года, при которой происходит в основном приработка и упругая работа конструкций;

2 стадия — эксплуатация 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 — аварийное разрушение, обычно наблюдаемое в течение нескольких дней, сопровождаемое лавинообразным ростом деформаций.

Учитывая малые сроки работы сооружения в стадиях 1 и 3, для оценки изменения прочностных и деформационных свойств со временем принята расчетная диаграмма, основанная на работе сооружения в стадии эксплуатации (рис. 1, б).

Для составления кинетического уравнения деформирования во времени примем расчетную модель сооружения (рис. 1, в) в виде цилиндра, наполненного несжимаемой жидкостью, которая может вытекать через зазор между поршнем и стенкой цилиндра.



**Рис. 1.** Расчетная модель работы конструкции во времени: а — диаграмма деформирования; б — расчетная диаграмма; в — расчетная модель работы сооружения во времени; 1, 2, 3 — стадии деформирования; 4 — поршень с износом;  $u$  — деформация;  $t$  — время

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

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

$$N + mu'' = R, \quad (1)$$

где  $u'' = u'/dt$  — ускорение движения;

$u$  — перемещение;

$u'$  — скорость движения;



$t$  — время, годы;

$R$  — опорная реакция.

Примем, что сжатая давлением опорной реакции  $R$  жидкость вытекает через зазор между стенкой и поршнем со скоростью истечения  $u' = du/dt$ , прямо пропорционально силе сжатия  $R = \eta(t)u'$ , где  $\eta$  — коэффициент вязкости жидкости.

Примем, что прочность и деформативность сооружения (площадь поршня) вследствие износа изменяется по экспоненциальному закону. Указанным законом описываются химические реакции, связанные со старением материалов, коррозией, накоплением повреждений. Тогда для заданного момента времени  $R = \eta e^{-\lambda t} u'$  выражение (1) примет вид

$$N + mu'' = \eta e^{-\lambda t} u', \quad (2)$$

где  $\lambda$  — постоянная износа.

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

Тогда выражение (2) примет вид

$$N = \eta e^{-\lambda t} du/dt. \quad (3)$$

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

Произведем преобразование и интегрирование выражения

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

После интегрирования левой и правой части выражения получим:

$$u = N e^{\lambda t} / \eta \lambda + C. \quad (4)$$

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

$$0 + N/\eta \lambda + C; C = N/\eta \lambda.$$

Подставляя  $C$  в (4) и заменяя  $N/\eta = \beta$ , где  $\beta$  — коэффициент деформативности, получим основное кинетическое уравнение:

$$u = \beta (e^{\lambda t} - 1) / \lambda. \quad (5)$$

Преобразовывая (5) и логарифмируя, получим:

$$u\lambda/\beta + 1 = e^{\lambda t}; \ln(u\lambda/\beta + 1) = \lambda t; t = \ln(u\lambda/\beta + 1) / \lambda. \quad (6)$$

Зная на основе экспериментальных данных относительную деформацию конструкций  $u = u_a$  при разрушающей нагрузке из (5), можно получить коэффициент деформативности конструкций:

$$\beta = \lambda u_a / (e^{\lambda t} - 1), \quad (7)$$

где  $t = t_a$  — срок эксплуатации конструкции до разрушения.

Перейдем к оценке прочности и деформативности эксплуатируемых конструкций. Для экспоненциального закона изменения нормативной прочности конструкций  $\gamma_0$  прочность конструкций в заданный момент времени будет [2]:

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

В относительных величинах

$$y = \gamma/\gamma_0 = e^{-\lambda t}, \quad (9)$$

где величина  $y$  характеризует относительную надежность конструкции по отношению к нормативной надежности.

Прологарифмировав (9), получим

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

или

$$t = -\ln y/\lambda. \quad (11)$$

Оценивая по результатам натуральных обследований изменение прочностных свойств конструкций за определенный промежуток времени по формуле (10), можно получить постоянную износа.

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  $\gamma_p$ , условию работы  $\gamma_n$  и назначению  $\gamma_c$ , которые могут быть приведены к полному коэффициенту надежности (запаса) конструкции  $\gamma$ .

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

$\gamma_f = 1,2$ ,  $\gamma_n = 1$ ,  $\gamma_c = 1$ ,  $\gamma_m = \gamma_s/(1 - 1,64C_v) = 1,1/(1 - 1,64 \times 0,07) = 1,24$  — для стальных и железобетонных конструкций, разрушающихся по арматуре;

$\gamma_m = \gamma_b/(1 - 1,64C_v) = 1,3/(1 - 1,64 \times 0,135) = 1,67$  — для железобетонных конструкций, разрушающихся по бетону, где  $\gamma_s$  и  $\gamma_b$  — коэффициенты надежности по арматуре и бетону,  $C$  — коэффициенты изменчивости, принимаемые равным  $C_v = 0,07$  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,  $\gamma_0 = 1,2 \times 1 \times 1,24 \times 1 = 1,5$ , для железобетонных конструкций, разрушающихся по бетону,  $\gamma_0 = 1,2 \times 1 \times 1,67 \times 1 = 2$  и в среднем составят  $\gamma_0 = (1,5 + 2)/2 = 1,75$ .

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

$$y = \gamma/\gamma_0 = 1/1,75 = 0,6. \quad (12)$$

Подставляя значение  $y = 0,6$  в выражение (11), получим время до разрушения сооружения:

$$t_a = 0,5/\lambda. \quad (13)$$



Полученные зависимости позволяют количественно оценивать эксплуатационную пригодность конструкций во времени, что способствует повышению их надежности [2].

### Список литературы

1. *СП 13-102-2003*. Свод правил по проектированию и строительству. Правила обследования несущих строительных конструкций зданий и сооружений. — М.: Госстрой России, ГУП ЦПП, 2003.
2. *Добромыслов А.Н.* Оценка надежности зданий и сооружений по внешним признакам: справочное пособие. — М.: Издательство АСВ, 2004. — 72 с.

aaarostov@rambler.ru

Материал поступил в редакцию 13 октября 2015 г.

УДК 69.059.25

© Коллектив авторов, 2015

## Формирование организационно-технических строительных систем по капитальному ремонту зданий и сооружений на опасных производственных объектах (на примере теплоэнергетических предприятий)

**В.Ф. Катренко,**  
инженер

**А.И. Келеберда,**  
инженер-эксперт

**К.Б. Ктитров,**  
нач. лаборатории

**В.Б. Кузнецов,**  
эксперт

**Л.М. Мельников,**  
нач. отдела

ООО «Контакт»

Рассмотрена проблема управления эксплуатационной надежностью предприятий теплоэнергетического комплекса. Для повышения эффективности организации ремонтно-восстановительных работ предложено формировать организационно-технические строительные системы. Моделирование комплекса таких систем позволит находить эффективные организационно-технические решения, а также прогнозировать их возможное развитие в различных ситуациях вероятностного характера.

**Ключевые слова:** эксплуатационная надежность, организационно-технические строительные системы, моделирование.

**В** Ростовской обл. насчитывается 3311 котельных (64 % которых работают на газообразном топливе), в том числе 949 муниципальных [1]. Уровень морального и физического износа этих объектов достигает 60 %. Такое состояние котельных приводит не только к перебоям в подаче тепла к потребителям, но и к увеличению вероятности аварий (в особенности на газифицированных котельных).

Для эффективного управления эксплуатационной надежностью теплоэнергетических предприятий необходимо использовать системный подход к формированию решений по дальнейшей эксплуатации теплоэнер-