

Оценка технического состояния эксплуатируемых строительных конструкций зданий и сооружений

*к.т.н., доцент А.А. Сморгков;
заведующий лабораториями, преподаватель С.А. Кереб;
преподаватель Д.А. Орлов*;
ассистент К.О. Барановская,
ФГБОУ ВПО Юго-Западный государственный университет*

Ключевые слова: строительные конструкции; техническое состояние; натурные обследования; поверочный расчет; категории технического состояния; вероятностный подход

Строительные конструкции являются многофункциональными системами, сочетающими несущие и ограждающие функции. При проектировании устанавливаются численные значения параметров конструкций (размеры сечений, процент армирования и т.п.), соответствующие границе предельных состояний (по прочности, устойчивости, прогибам), что определяет их несущую способность. При изготовлении конструкций обеспечивается физическая несущая способность, которая в дальнейшем должна быть обеспечена нормативными условиями эксплуатации и необходимыми текущими ремонтами [1-5].

Как правило, физические параметры имеют превосходство над расчетными в силу разных причин: методических, технологических, статических, функциональных, временных, что создает начальный резерв (РЗ) (см. рис.1а).

При этом совпадение максимальных усилий и минимальной несущей способности – событие маловероятное, оцениваемое величиной порядка $10^{-6} \dots 10^{-8}$ [2,4,6,7].

Строительные конструкции при эксплуатации находятся под воздействием нескольких механических нагрузок (статических и циклических) при переменных температурно-влажностных условиях и агрессивности окружающей среды. Механические нагрузки вызывают в объеме конструкции поле напряжений. Их распределение в объеме конструкции и изменение во времени носит сложный характер и определяется видом нагрузки, схемой ее приложения, условиями закрепления по концам (расчетной схемой), геометрией конструкции (отношениями h/b , l_p/h , где h и b – высота и ширина сечения соответственно, l_p – расчетный пролет конструкции), анизотропией прочностных и деформационных свойств материала. Воздействие характеризуется или мацерацией поверхностного слоя, что ведет к уменьшению площади сечения, или градиентом их изменения по ширине и высоте сечения конструкции, что эквивалентно увеличению уровня действующих напряжений в объеме конструкции. При этом, если величина и направление действующих напряжений превысит сопротивление материала конструкции в данном направлении, то это приведет к развитию существующих дефектов и появлению повреждений.

Процесс эксплуатации строительной конструкции в условиях случайных воздействий различных факторов, неизбежно сопровождающийся накоплением и развитием случайных дефектов и повреждений, можно представить в виде квазимонотонного изменения во времени параметров состояния конструкции – составляющих процесса изменения её несущей способности по каждому из возможных предельных состояний (рис. 1а) [8-12].

По истечении некоторого отрезка времени, составляющего ресурс безопасной эксплуатации конструкции, один или несколько параметров её технического состояния достигнут (или могут достигнуть) соответствующих предельных значений, принятых из условия нормальной эксплуатации конструкции, то есть наступит параметрический отказ (точка А на рис. 1а).

Цель данной работы – разработка и апробация в натуральных условиях нового подхода к оценке технического состояния конструкций в зависимости от вероятности их отказа.

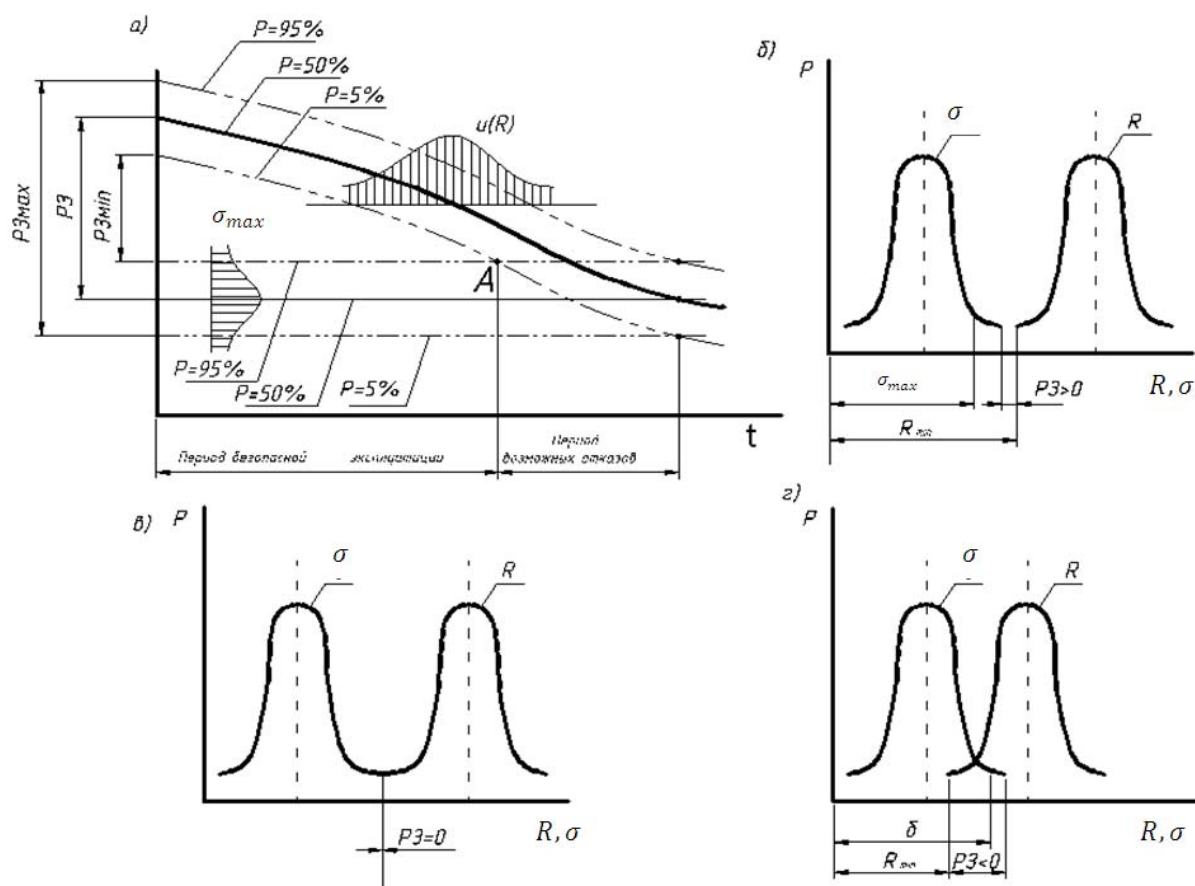


Рисунок 1. Соотношение между действующими напряжениями и сопротивлением материала конструкции, а также динамика их изменения во времени

Техническое состояние конструкции в условиях эксплуатации в период возможных отказов может быть охарактеризовано конечным числом параметров. Современная нормативная литература приводит следующую классификацию технического состояния эксплуатируемых конструкций.

1. В соответствии с ГОСТ Р 53778-2010 «Здания и сооружения. Методы мониторинга и обследования технического состояния».

- Нормативное техническое состояние. Это такая категория технического состояния, при котором количественные и качественные значения параметров всех критериев оценки технического состояния строительных конструкций зданий и сооружений, включая состояние грунтов основания, соответствуют установленным в проектной документации значениям с учетом пределов их изменения.
- Работоспособное состояние строительных объектов. При работоспособном техническом состоянии некоторые из числа контролируемых параметров могут не соответствовать требованиям проекта либо нормативов. Однако имеющиеся несоответствия с требованиями условий эксплуатации объектов не приводят к ухудшению их работоспособности, а несущая способность строительных конструкций и грунтового основания с учетом воздействия имеющихся повреждений и дефектов обеспечивается на должном уровне.
- Ограниченно-работоспособное состояние строительных объектов. Это категория состояния строительных объектов, в том числе состояния грунтового основания, при которой имеют место крены, повреждения и дефекты. Последние приводят к уменьшению несущей способности строительных объектов, однако отсутствует опасность разрушения, потери устойчивости и опрокидывания. При этом функционирование строительных конструкций и эксплуатация здания в целом возможны

при периодическом мониторинге их технического состояния либо при производстве необходимых работ по восстановлению либо усилению конструкций.

- Аварийное состояние строительных объектов. Аварийное состояние строительных объектов характеризуется различными повреждениями и деформациями, которые свидетельствуют об утрате несущей способности объектов и появлении опасности обрушения либо полного разрушения объектов.

2. Согласно СП 13-102-2003 «Правила обследования строительных конструкций» выделяют следующие категории технического состояния:

- Нормативный уровень технического состояния – категория технического состояния, при котором количественные и качественные значения параметров всех критериев оценки технического состояния строительных конструкций зданий и сооружений соответствуют требованиям нормативных документов (СНиП, ТСН, ГОСТ, ТУ, и т.д.).
- Исправное состояние – состояние строительных объектов, которое характеризуется отсутствием каких-либо дефектов и повреждений, которые могут повлиять на уменьшение несущей способности строительных объектов и их эксплуатационной пригодности.
- Работоспособное состояние – состояние строительных объектов, которое характеризуется несоответствием некоторых из контролируемых параметров требованиям проекта, нормативов и стандартов, но имеющиеся нарушения (к примеру, деформативность, трещиностойкость и так далее) в определенных условиях эксплуатации не влияют на работоспособность и несущую способность строительных конструкций.
- Ограниченно работоспособное состояние – состояние строительных объектов, которое характеризуется наличием некоторых дефектов и повреждений, приводящих к сокращению несущей способности, но отсутствует какая-либо опасность разрушения, а функционирование строительных конструкций возможно при контроле их состояния, условий и продолжительности эксплуатации.
- Недопустимое состояние – состояние строительных объектов, которое характеризуется уменьшением несущей способности и эксплуатационной пригодности, когда имеется опасность для нахождения внутри и поблизости людей, а также сохранности технологического оборудования (необходимо производство страховочных мероприятий и работ по усилению конструкций).
- Аварийное состояние – состояние строительных объектов, которое характеризуется повреждениями и дефектами, которые свидетельствуют о полной утрате несущей способности и появлением опасности обрушения (необходимо срочное проведение противоаварийных мероприятий).

При этом параметры технического состояния не имеют четких границ ни по условиям прочности, ни по условиям деформативности, что приводит к трудностям методического характера. Более того, приведенные выше нормативные документы не допускают превышения действующего напряжения над расчетным сопротивлением. Таким образом, вообще исчезает смысл введения категории технического состояния, что не совсем оправдано.

На протяжении многих лет в бывшем Курск ГТУ (ныне ЮЗГУ) проводились обследования эксплуатируемых зданий и сооружений различного назначения, что требовало оценки технического состояния строительных конструкций.

В основу оценки технического состояния положено сопоставление между действующим в расчетном сечении конструкции напряжением и расчетным сопротивлением материала, из которого изготовлена конструкция.

Изменчивость механических свойств материалов конструкций, а также размеров элементов, предопределяет изменчивость несущей способности конструкций, а вариативность нагрузок – изменчивость усилий. Поэтому возникает ситуация, при которой техническое состояние конструкции может быть оценено в зависимости от вероятности отказа, что не учитывается в современной нормативной литературе.

Принципиальным отличием авторского подхода [13] в оценке технического состояния строительных конструкций от существующих [14-22] является введение двух дополнительных параметров: вероятность разрушения (отказа) – P_f и индекс надежности – β .

Меру безопасности строительных конструкций принято выражать в виде формальной вероятности разрушения (отказа) P_f либо индекса надежности β . Вероятность отказа P_f связана с индексом надежности следующим образом (табл. 1):

$$P_f = \Phi(-\beta), \quad (1)$$

где Φ – функция Лапласа; β – индекс надежности.

Таблица 1. Взаимосвязь между β и P_f

P_f	10^{-1}	10^{-2}	10^{-3}	10^{-4}	10^{-5}	10^{-6}	10^{-7}
β	1,255	2,255	3,255	3,75	4,25	4,75	5,25

Индекс надежности можно определить по известной формуле [4]:

$$\beta = \frac{\bar{R} - \bar{\sigma}}{\sqrt{S_R^2 + S_\sigma^2}}, \quad (2)$$

где $\bar{R}, \bar{\sigma}$ – соответственно обобщенная несущая способность конструкции и обобщенная нагрузка; S_R, S_σ – соответственно среднеквадратические отклонения указанных величин.

Представляя надежность строительной конструкции как целесообразное технико-экономическое значение потребительских качеств [6], получим соответствующие параметры технического состояния в зависимости от вероятности отказа и индекса надежности (приведены в таблице 2).

В таблице 2 приведены параметры технического состояния строительной конструкции с четкими границами по величинам прочности (несущей способности) и деформативности (перемещения) в зависимости от индекса надежности и коэффициента безопасности, а также возможные мероприятия по приведению конструкций в работоспособное состояние.

Для примера приведем результаты обследования и оценки технического состояния плит покрытия в главном корпусе электромеханического завода в п. Свобода Курской области.

В покрытии цеха были использованы плиты из ячеистого бетона. При обследовании были установлены механические характеристики материалов ($\bar{R} = 4,99 \text{ МПа}, \bar{S}_R = 0,279 \text{ МПа}$) и их изменчивость, состав нагрузок на покрытие и их изменчивость. Кроме того, установлено наличие поперечных трещин в пролете с шириной раскрытия $\leq 1,0$ мм и прогиб конструкций $[1/150 \div 1/165]$ от длины пролета. В результате расчета установлены параметры напряжений: $\bar{\sigma} = 2,62 \text{ МПа}$ и $\bar{S}_\sigma = 0,633 \text{ МПа}$.

Величина коэффициента β равна:

$$\beta = \frac{4,99 - 2,62}{\sqrt{0,279^2 + 0,633^2}} = 3,78 < 3,75.$$

Таким образом, техническое состояние конструкций отнесено к ограниченно работоспособному и принято решение об их усилении.

Таблица 2. Параметры технического состояния эксплуатируемых конструкций

Категория состояния		Исправное	Работоспособное	Ограниченно работоспособное	Неработоспособное	Аварийное
Показатели надежности	β	$\leq 10^{-6}$	10^{-5}	10^{-4}	10^{-3}	10^{-2}
	P_f	4,75	4,25	3,75	3,25	2,25
	$P3$	$P3 > 0$	$P3 > 0$	$P3 = 0$	$P3 < 0$	$P3 < 0$
Пределные состояния	По прочности	$\sigma_{\max} < R_1$	$\sigma_{\max} < R_1$	$\sigma_{\max} < R_1^H$	$\sigma_{\max} \leq R_{\min}$	$\sigma_{\max} > R_{\min}$
	По деформациям	$f < [f]$	$f \leq [f]$	$f > [f]$	$f \gg [f]$	$f > [\frac{1}{50} \dots \frac{1}{80}] \cdot l_p$
Возможные решения		Оставить без изменений		Усилить	Усилить при экономическом обосновании	Демонтировать

Примечания: σ_{\max} – максимальное эксплуатационное напряжение обследуемой конструкции; R_1 , R_1^H , R_{\min} – расчетное, нормативное, минимальное значение прочности материала конструкции по результатам обследования; $[f]$ – предельный прогиб по СП 20.13330.2011.

Заключение

Диагностика сохраняемых конструкций является неотъемлемой частью оценки их технического состояния. Техническое состояние строительных конструкций предопределяет целый ряд решений по их дальнейшему использованию.

Как показывает практика проведения обследований зданий и сооружений, только на основе комплексных исследований с оценкой прочности материалов, выявлением дефектов и повреждений, определением существующих и прогнозируемых нагрузок можно оценить их техническое состояние.

В отличие от существующих подходов в оценке технического состояния строительных конструкций, авторами была использована оценка с применением вероятностных методов, позволивших установить четкие границы этих состояний с позиции неразрушимости элементов. Приведен пример использования предлагаемого метода на реальном объекте обследования.

Литература

1. Ушаков И. А. Курс теории надежности систем. М.: ДРОФА, 2008. 237 с.
2. Светлицкий В. А. Статистическая механика и теория надежности. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э.Баумана, 2004. 503 с.
3. Augusti G., Baratta A., Casciati F. Probabilistic Methods in Structural Engineering. London, New York: Chapman and Hall, 1984. 556 p.

Сморчков А.А., Кереб С.А., Орлов Д.А., Барановская К.О. Оценка технического состояния эксплуатируемых строительных конструкций зданий и сооружений

4. Лычев А. С. Надежность строительных конструкций. М.: АСВ, 2008. 184 с.
5. Лычев А. С. Оптимизация материалоемкости строительных конструкций вероятностными методами: дис. ... д-ра техн. наук : 05.23.01. М., МИСИ, 1990. 336 с.
6. Райзер В. Д. Теория надежности в строительном проектировании. М.: АСВ, 1998. 304 с.
7. Ржаницын А. Р. Теория расчета строительных конструкций на надежность. М.: Стройиздат, 1978. 239 с.
8. Кузютин А. Д. Бубнович Э. В. Строительные конструкции. Алматы: Эверо, 2005. 116 с.
9. Пухонто Л. М. Долговечность железобетонных конструкций и инженерных сооружений. М.: АСВ, 2004. 424 с.
10. Перельмутер А. В. Избранные проблемы надежности и безопасности строительных конструкций. М.: АСВ, 2007. 254 с.
11. Рыжкин А. А., Шучев К. Г. Основы теории надежности. Ростов-на-Дону: Изд-во ДГТУ, 2002. 182 с.
12. Соколов В. А. Оценка технического состояния строительных конструкций зданий на основе многоуровневого вероятностного анализа // Инженерно-строительный журнал. 2011. №7 (25). С. 45-51.
13. Сморчков А. А. Эксплуатационное состояние сохраняемых строительных конструкций. Курск: Изд-во ЮЗГУ, 2011. 138 с.
14. ГОСТ Р 53778-2010. Здания и сооружения. Правила обследования и мониторинга технического состояния. М.: Стандартинформ. 60 с.
15. СП 13-102-2003. Правила обследования несущих строительных конструкций зданий и сооружений. М.: Госстрой России, 2004. 31 с.
16. Шпете Г. Надежность несущих строительных конструкций. М.: Стройиздат, 1994. 288 с.
17. Савин С. Н., Демишин С. В., Ситников И. В. Мониторинг уникальных объектов с использованием динамических параметров по гост Р 53778-2010 // Инженерно-строительный журнал. 2011. №7 (25). С. 33-39.
18. Абдуллаев Г. И. Оценка уровня надежности с учетом организационно-технологических параметров строительства линейно-протяженных сооружений // Инженерно-строительный журнал. 2009. №8. С. 62-64.
19. Зайчиков А. Ф. Надежность систем // Вестник машиностроения. 2008. №3. С. 19-23.
20. Thornton W. A., Holland M. V. Steel Construction Manual. USA: AISC, 2006. 2181 p.
21. McLachlan G., Peel D. Finite Mixture Models. USA: John Wiley, 2000. 439 p.
22. Morris H., Mark J. Schervish. Probability and Statistics. Addison-wesley publishing company, 1989. 730 p.

**Денис Александрович Орлов, г. Курск, Россия*

Тел. раб.: +7(4712)504816; эл. почта: Den.-@mail.ru

© Сморчков А.А., Кереб С.А., Орлов Д.А., Барановская К.О., 2012

doi: 10.5862/MCE.33.9

Testing the technical condition of maintained building structures

A.A. Smorchkov,

S.A. Kereb,

D.A. Orlov,

K.O. Baranovsky,

South-West State University, Kursk, Russia

+7(4712)504816; e-mail: Den-.-@mail.ru

Key words

building structures; technical condition; full-scale inspection; checking calculation; categories of technical condition; probabilistic approach

Abstract

The accumulation of damage in structures under mechanical and environmental influences reduces their carrying capacity and changes its technical condition.

A new approach to the evaluation of technical condition of building structures. Besides comparing the strength and deformation parameters it was proposed additional criteria: the probability of failure P_f and reliability index β . That allows setting the clear boundaries between categories of technical condition from the positions of structure indestructibility.

The example of using the proposed method in practice was given in the article.

References

1. Ushakov I. A. *Course on the theory of system reliability*. Moscow: DROFA, 2008. 237 p. (rus)
2. Svetlitsky V. A. *Statistical mechanics and the theory of reliability*. Moscow: Publishing House of the MSTU. Bauman, 2004. 503 p. (rus)
3. Augusti G., Baratta A., Casciati F. *Probabilistic Methods in Structural Engineering*. London, New York, Chapman and Hall.
4. Lychev A. S. *Reliability of building structures*. Moscow: ABC, 2008. 184 p. (rus)
5. Lychev A. S. *Optimization of material constructions probabilistic methods*. Moscow: Publishing House of the MISA, 1990. (rus)
6. Reiser V. D. *Reliability theory in structural design*. Moscow: IASV, 1998. 304 p. (rus)
7. Rzhantsyn A. R. *The theory of design of structures for reliability*. Moscow: Stroizdat, 1978. (rus)
8. Kuzyutina A. D., Bubnovich E. V. *Constructions*. Almaty: Evero, 2005. 116 p. (rus)
9. Puhonto L. M. *Durability of concrete structures and engineering structures*. M.: ABC, 2004. 424 p. (rus)
10. Perelmuter A. V. *Selected problems in the reliability and safety of building structures*. Moscow: ABC, 2007. 254 p. (rus)
11. Ryzhkin A. A., Shuchev K. G. *Fundamentals of reliability theory*. Rostov-na-Donu: DSTU, 2002. 182 p. (rus)
12. Sokolov A. *Magazine of Civil Engineering*. 2011. No. 7 (25). Pp. 45-51. (rus)
13. Smorchkov A. A. *Operational condition of stored building structures*. Kursk: SWSU, 2011. 138 p. (rus)
14. GOST R 53778-2010. *Buildings. Rules of the survey and monitoring of the technical state*. Moscow: Standartinform. 60 p. (rus)
15. SP 13-102-2003. *Rules survey bearing structures of buildings and structures*. Moscow: Russian State Committee for Construction, 2004. 31 p. (rus)
16. Shpet G. *Reliability bearing building structures*. Moscow: Stroyizdat, 1994. 288 p. (rus)
17. Savin S. N., Demishin S. S., Sitnikov I. V. *Magazine of Civil Engineering*. 2011. No. 7 (25). Pp. 33-39. (rus)
18. Abdullaev G. I. *Magazine of Civil Engineering*. 2009. No. 8. Pp. 62-64. (rus)

Smorchkov A.A., Kereb S.A., Orlov D.A., Baranovsky K.O. Testing the technical condition of maintained building structures

19. Zayichicov A. F. *Bulletin of mechanical engineering*. Moscow: Publishing House of Mechanical Engineering, 2008. Pp. 19-23. (rus)
20. Thornton W. A., Holland M. V. *Steel Construction Manual*. USA: AISC, 2006. 2181 p.
21. McLachlan G., Peel D. *Finite Mixture Models*. USA: John Wiley, 2000. 439 p.
22. Morris H., Mark J. *Schervish. Probability and Statistics*. Addison-wesley publishing company, 1989. 730 p.

Full text of this article in Russian: pp. 70-75