

ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ КОНСТРУКЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ

DOI 10.15593/2409-5125/2015.02.03

УДК 699.88

К.В. Голубев

Пермский национальный исследовательский
политехнический университет

ОСТАТОЧНЫЙ РЕСУРС ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ ИСТОРИЧЕСКОЙ ЗАСТРОЙКИ КАК ОДИН ИЗ КРИТЕРИЕВ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ИХ НАДЕЖНОСТИ

Величина остаточного ресурса – один из ключевых критериев обеспечения параметров надежности при проведении работ по сохранению зданий или сооружений, являющихся объектами культурного наследия (памятников истории и культуры) РФ. Понятие остаточного ресурса здания или сооружения является комплексным и включает в себя следующие компоненты: остаточный ресурс как физико-механическую характеристику здания; остаточный ресурс как остаточную стоимость здания; остаточный ресурс как величину, отражающую потребительскую ценность здания.

Рассмотрены существующие подходы к прогнозированию остаточного ресурса зданий и сооружений как физико-механической характеристики здания с использованием теории вероятности и детерминированных расчетов. Выявлены достоинства и недостатки методов расчета остаточного ресурса по принципу «безопасной эксплуатации по техническому состоянию», основанному на оценке технического состояния объекта по параметрам, обеспечивающим его надежную и безопасную эксплуатацию в соответствии с нормативной или проектной документацией. Проанализированы комплексные методики расчета остаточного ресурса применительно к зданиям исторической застройки. Предложен один из возможных путей решения данной проблемы с помощью введения дополнительных параметров для учета их в расчете величины остаточного ресурса.

Ключевые слова: определение остаточного ресурса, историческая застройка, техническое состояние, критерии предельных состояний объекта, недостатки методов.

Остаточный ресурс здания – один из ключевых критериев обеспечения параметров надежности при проведении работ по сохранению зданий или сооружений, являющихся объектами куль-

турного наследия (памятников истории и культуры) РФ. Определение величины остаточного ресурса необходимо также для рационального долгосрочного планирования и финансирования работ по сохранению зданий или сооружений исторической застройки.

Необходимость решения задачи определения ресурса для здания в целом, а также для его отдельных элементов и конструкций возникает при реставрации и реализации проектов приспособления для современного использования и при оценке воздействия на здание особых нагрузок и условий эксплуатации.

Понятие остаточного ресурса здания или сооружения является комплексным:

- остаточный ресурс как физико-механическая характеристика здания;
- остаточный ресурс как остаточная стоимость здания;
- остаточный ресурс как величина, отражающая потребительскую ценность здания.

Вопросы, связанные с определением остаточной стоимости здания и его потребительской ценности (привлекательность), являются в большей степени экономическими. Рассмотрим понятие остаточного ресурса как физико-механической характеристики здания.

Остаточный ресурс здания в данный момент времени является численным выражением его качества, которое определяется следующими факторами: начальной надежностью к моменту окончания строительства, продолжительностью службы здания, нагрузками и воздействиями на него. Скорость снижения надежности здания зависит от условий эксплуатации и их стабильности во времени – наличия и величин особых нагрузок, механических воздействий. В процессе эксплуатации объектов культурного наследия высока вероятность лавинообразного снижения величины остаточного ресурса. Это может быть связано со строительством зданий окружающей застройки, изменением режима грунтовых вод, воздействием особых нагрузок, нарушением режима эксплуатации объекта.

Проанализируем основные подходы к определению остаточного ресурса как физико-механической характеристики зданий и сооружений, существующие в настоящее время.

В общем случае решение задачи определения остаточного ресурса возможно с использованием двух подходов [1–5]:

- использование теории вероятности;
- использование детерминированных расчетов.

Задача об остаточном ресурсе здания в детерминированной постановке не дает точного вида формулы, а позволяет лишь выбирать готовые формулы, обычно многочлены различной степени. Однако многочлен слишком низкой степени дает грубое описание процесса, а многочлен высокой степени не будет сглаживать отклонения. К тому же, подобный порядок выбора такой зависимости должен учитывать процесс потери во времени способности конструкции выполнять свои функции. В противном случае экстраполяция принятой закономерности рассматриваемого параметра вплоть до достижения предельного состояния конструкции может привести к существенным последствиям [1].

Применение вероятностных методов требует значительного объема информации о внешних воздействиях, а также информации о материалах конструкций. Увеличение объема необходимой информации обеспечивает большую достоверность выводов о ее надежности и долговечности.

Основные положения вероятностного подхода [1, 6–8]:

- внешние условия эксплуатации конструкции являются случайными процессами;
- за основной показатель надежности принимается вероятность пребывания параметров системы в некоторой допустимой области, нарушение нормальной эксплуатации приводит к выходу из этой области;
- выход конструкции из строя является, как правило, следствием постепенного накопления повреждений;
- оценка соответствия фактического риска аварии объекта предъявляемым требованиям конструкционной безопасности [9] является составной частью определения остаточного ресурса.

Наиболее распространенным подходом к данному вопросу является использование принципа «безопасной эксплуатации по техническому состоянию» [10–13]. Данный подход основан на оценке технического состояния объекта по параметрам, обеспечивающим его надежную и безопасную эксплуатацию в соответ-

вии с нормативной или проектной документацией. Величина остаточного ресурса определяется по ключевым параметрам технического состояния, которые могут привести объект в неработоспособное или предельное состояние. В общем случае этими параметрами могут быть:

- механические и химические характеристики материалов;
- величина запаса прочности;
- технологические показатели (параметры эксплуатации).

Выбор ключевых параметров осуществляется по результатам анализа технической документации и результатов обследования. В отдельных случаях допустимо использовать результаты экспертной оценки, которая обязательно должна включать анализ условий эксплуатации, инструментальный контроль и поверочные расчеты.

На основании анализа полученных результатов и опыта эксплуатации принимается решение о продлении эксплуатации здания с назначением остаточного ресурса либо о необходимости проведения расчета остаточного ресурса. Остаточный ресурс объекта устанавливается на основе совокупности имеющейся информации путем прогнозирования его технического состояния по определяющим параметрам до достижения предельного состояния.

Во время прогнозирования величины остаточного ресурса должно быть обеспечено одновременное выполнение следующих условий [10–12]:

- известны параметры технического состояния здания;
- известны определяющие параметры технического состояния, изменяющиеся соответственно выявленному механизму повреждения элементов объекта;
- назначены критерии предельных состояний объекта, достижение которых возможно при развитии выявленных повреждений.

Критериями расчета остаточного ресурса зданий с металлическими каркасами являются:

- физический износ;
- статическая прочность с учетом дефектов и температурного воздействия;
- коррозия;
- усталость.

Критерии расчета остаточного ресурса зданий с железобетонным каркасом:

- физический износ;
- коррозия бетона и арматуры;
- наличие дефектов и повреждений.

Расчет остаточного ресурса может выполняться как по одному, так и по нескольким критериям.

В общем случае выбор метода расчета остаточного ресурса по тому или иному критерию должен обосновываться требованиями точности и достоверности прогнозируемого ресурса объекта и риска его дальнейшей эксплуатации.

Расчеты остаточного ресурса по критериям предельных состояний проводятся по следующим методам [10–12]:

• **Расчет остаточного ресурса в зависимости от физического износа.** Общая оценка повреждаемости сооружения производится по формуле

$$\varepsilon = \frac{\alpha_1 \cdot \varepsilon_1 + \alpha_2 \cdot \varepsilon_2 + \dots + \alpha_i \cdot \varepsilon_i}{\alpha_1 + \alpha_2 + \dots + \alpha_i}, \quad (1)$$

где $\varepsilon_1, \varepsilon_2, \dots, \varepsilon_i$ – максимальные повреждения отдельных конструкций; $\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_i$ – коэффициенты значимости отдельных видов конструкций.

Относительная оценка повреждаемости сооружения проводится по формуле

$$\gamma = 1 - \varepsilon. \quad (2)$$

Постоянная износа определяется по данным обследования:

$$\lambda = \frac{-\ln \gamma}{t_\phi}, \quad (3)$$

где t_ϕ – срок службы (в годах) на момент проведения экспертизы.

Срок службы здания (в годах) с начала эксплуатации до капитального ремонта определяется по формуле

$$T = \frac{0,16}{\lambda}. \quad (4)$$

• **Расчет остаточного ресурса по статической прочности.** Остаточный ресурс по критерию предельного состояния

$$T_k(T_э) = \frac{\sigma_B(t) - [\sigma]}{\alpha_\sigma}, \quad (5)$$

где $\sigma_B(t)$ – предел прочности на момент проведения обследования; $[\sigma]$ – предел прочности по расчету; α_σ – скорость снижения механических свойств,

$$\alpha_\sigma = \frac{\sigma_B - \sigma_B(t)}{t}, \quad (6)$$

где σ_B – нормативный предел прочности; t – время от начала эксплуатации до момента проведения обследования.

• **Расчет остаточного ресурса по коррозионному износу конструкций.** Остаточный ресурс конструкций здания, подвергшихся коррозии, определяется по формуле

$$T_k = \frac{S_u - S_\phi}{t}, \quad (7)$$

где S_u – фактическая минимальная толщина стенки элемента, мм; t – время от начала эксплуатации до момента проведения обследования.

• **Расчет остаточного ресурса по усталости конструкций.** Ресурс циклической работоспособности определяется по формуле

$$T_ц = \frac{T_э \cdot [N]}{N_э}, \quad (8)$$

где $T_э$ – время эксплуатации с момента начала эксплуатации; $[N]$ – допустимое количество циклов нагружения; $N_э$ – количество циклов нагружения за период эксплуатации.

По результатам расчетов остаточного ресурса делается оценка ресурса отдельных конструктивных элементов здания, частей здания, либо здания в целом. При расчете остаточного ресурса по нескольким критериям ресурс назначается по минимальному значению.

Необходимо отметить, что все вышеописанные методы имеют ограниченную область применения и не учитывают существенные при определении остаточного ресурса факторы, а именно:

- резкое изменение условий эксплуатации и возможное воздействие особых нагрузок;
- наличие скрытых дефектов конструкций;
- качество изготовления конструкций;
- скорость деградации характеристик материалов конструкций и ее изменение.

Существующие комплексные методики оценки остаточного ресурса [12–15] не учитывают всего комплекса показателей или не учитывают особенностей объектов культурного наследия.

Таким образом, целесообразным является разработка комплексной методики определения остаточного ресурса объектов культурного наследия, который будет основан на принципе «безопасной эксплуатации по техническому состоянию», чтобы ее расчетные результаты максимально совпадали с фактическим сроком эксплуатации. Данная методика должна предусматривать режим постоянного проведения научно-технического сопровождения строительства (НТСС). В рамках НТСС необходимо определить ключевые критерии для расчета остаточного ресурса и проанжировать их по своей значимости.

Вышеприведенные негативные факторы предлагается учитывать следующим образом:

- резкое изменение условий эксплуатации и возможное воздействие особых нагрузок – путем введения коэффициента надежности, определяемым на основании анализа текущих условий эксплуатации;
- наличие скрытых дефектов конструкций и качество их изготовления – путем введения понижающего коэффициента;
- скорость деградации характеристик материалов конструкций – в рамках НТСС путем проведения периодического инструментального контроля отдельных показателей строительных конструкций.

Библиографический список

1. Суцев С.П., Адаменко И.А., Самолинов Н.А. Остаточный ресурс конструкций здания (сооружения) и возможные методы его оценки // Предотвращение аварий зданий и сооружений: электрон. журн. / ООО «Велд», 2009. – URL: <http://www.pamag.ru/pressa/ostatok-resurs>.
2. Самолинов Н.А. Использование неразрушающих методов контроля прочности конструкций при определении остаточного ресурса зданий и сооружений // Сейсмостойкое строительство, безопасность сооружений. – 2002. – № 3. – С. 22–27.
3. Румшпский Л.З. Математическая обработка результатов эксперимента. – М.: Наука, 1971. – 192 с.
4. Способ определения остаточного ресурса промышленных дымовых и вентиляционных труб / В.Г. Сатьянов, П.Г. Пилипенко, В.А. Французов, С.В. Сатьянов, В.С. Котельников // Безопасность труда в промышленности. – 2007. – № 12. – С. 34–39.
5. Шматков С.Б. Способ расчета остаточного ресурса строительных конструкций // ТехНАДЗОР. – 2007. – № 5. – С. 56–57.
6. Болотин В.В. Методы теории вероятностей и теории надежности в расчетах сооружений. – М.: Стройиздат, 1982. – 352 с.
7. Вентцель Е.С. Теория вероятностей. – М.: Наука: Физматгиз, 1969. – 576 с.
8. Самолинов Н.А. Определение устойчивости контура выработки с учетом случайного характера исходных параметров // Объекты гражданской обороны. Защитные сооружения. – 1983. – № 2 (56). – С. 66–71.
9. Мельчаков А.П. Расчет и оценка риска аварии и безопасного ресурса строительных объектов. – Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2006. – 49 с.
10. Пермяков М.Б. Методика расчета остаточного ресурса зданий на опасных производственных объектах // Актуальные проблемы архитектуры, строительства и дизайна: материалы междунар. науч.-практ. конф. – Магнитогорск: Изд-во Магнитогор. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2012. – С. 169–175.
11. Актуальные проблемы строительства: моногр. / М.Б. Пермяков [и др.]. – Магнитогорск, 2013. – 139 с.

12. Пермяков М.Б. Расчет и оценка остаточного ресурса зданий // Современные строительные технологии, конструкции и материалы: сб. науч. тр. / под ред. М.Б. Пермякова. – Магнитогорск: Изд-во Магнитогор. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2011. – С. 17–22.

13. Рекомендации по оценке надежности строительных конструкций зданий и сооружений по внешним признакам / ЦНИИпромзданий. – М., 2001.

14. Гордеева О.Г. Расчетно-экспериментальные методы экспресс-оценки физического износа и остаточного ресурса зданий и сооружений: дис. ... канд. техн. наук. – Новогорск, 2002. – 142 с.

15. Каверин А.А. Методика расчета остаточного ресурса сооружения по результатам обследования // Обследование зданий и сооружений: проблемы и пути их решения: материалы науч.-практ. конф. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2013. – С. 33–38.

References

1. Sushchev S.P., Adamenko I.A., Samolinov N.A. Ostatochnyj resurs konstruksij zdaniya (sooruzheniya) i vozmozhnye metody ego otsenki [The residual life of building structures (buildings) and the possible methods of assessment]. *Elektronnyj zhurnal «Predotvrashhenie avarij zdaniy i sooruzhenij»*. ООО «Veld», 2009, available at: <http://www.pamag.ru/prensa/ostatok-resurs>.

2. Samolinov N.A. Ispolzovanie nerazrushayushchikh metodov kontrolya prochnosti konstruksij pri opredelenii ostatochnogo resursa zdaniy i sooruzhenij [Using the non-destructive testing of structures in determining the strength of residual life of buildings and structures]. *Sejsmostojkoe stroitelstvo, bezopasnost sooruzhenij*, 2002, no. 3, pp. 22–27.

3. Rumshiskij L.Z. Matematicheskaya obrabotka rezultatov eksperimenta [The mathematical processing of the experimental results]. Moscow: Nauka, 1971. 192 p.

4. Satyanov V.G., Pilipenko P.G., Frantsuzov V.A., Satyanov S.V., Kotelnikov V.S. Sposob opredeleniya ostatochnogo resursa promyshlennykh dymovykh i ventilyatsionnykh trub [A method for determining residual life of industrial smokestacks and ventilation pipes]. *Bezopasnost truda v promyshlennosti*, 2007, no. 12, pp. 34–39.

5. Shmatkov S.B. Sposob rascheta ostatochnogo resursa stroitelnykh konstruksij [The method of calculation of residual life of building structures]. *TekhNADZOR*, 2007, no. 5, pp. 56–57.

6. Bolotin V.V. Metody teorii veroyatnostej i teorii nadezhnosti v raschetakh sooruzhenij [Methods of probability theory and reliability theory in the calculation facilities]. Moscow: Strojizdat, 1982. 352 p.

7. Venttsel E.S. Teoriya veroyatnostej [Probability theory]. Moscow: Nauka: Fizmatgiz, 1969. 576 p.

8. Samolinov N.A. Opredelenie ustojchivosti kontura vyrabotki s uchetom sluchajного kharaktera iskhodnykh parametrov [Determination of the resistance circuit development, taking into account the random nature of the initial parameters]. *Obekty grazhdanskoj oborony. Zashchitnye sooruzheniya*, 1983, no. 2 (56), pp. 66–71.

9. Mel'chakov A.P. Raschet i otsenka riska avarii i bezopasnogo resursa stroitelnykh obektov [Calculation and evaluation of accident risk and safe-life construction projects]. Chelyabinsk, 2006. 49 p.

10. Permyakov M.B. Metodika rascheta ostatochnogo resursa zdaniy na opasnykh proizvodstvennykh obektakh [Method of calculation of residual life of buildings at hazardous production facilities]. *Materialy mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferentsii «Aktualnye problemy arkhitektury, stroitelstva i dizajna»*. Magnitogorsk, 2012, pp. 169–175.

11. Permyakov M.B., Chernyshova E.P. et al. Aktualnye problemy stroitelstva [Actual problems of building]. Magnitogorsk, 2013. 139 p.

12. Permyakov M.B. Raschet i otsenka ostatochnogo resursa zdaniy [Calculation and evaluation of residual life of buildings]. *Sovremennye stroitelnye tekhnologii, konstruksii i materialy*. Magnitogorsk, 2011, pp. 17–22.

13. Rekomendatsii po otsenke nadezhnosti stroitelnykh konstruksij zdaniy i sooruzhenij po vneshnim priznakam [Guidelines for assessing the reliability of the structures of buildings and structures by their appearance]. Moscow: TSNIIPROMZDANIJ, 2001.

14. Gordeeva O.G. Raschetno-eksperimentalnye metody ekspress-otsenki fizicheskogo iznosa i ostatochnogo resursa zdaniy i sooruzhenij [Methods to assess a rapid assessment of the physical

wear and remaining life of buildings and structures]. Thesis of the candidate of technical sciences. Novogorsk, 2002. 142 p.

15. Kaverin A.A. Metodika rascheta ostatochnogo resursa sooruzheniya po rezul'tatam obsledovaniya [Method of calculation of residual life of the construction according to the survey]. *Materialy nauchno-prakticheskoy konferentsii «Obsledovanie zdaniy i sooruzhenij: problemy i puti ih resheniya»*. Saint-Petersburg, 2013, pp. 33–38.

Получено 17.04.2015

K. Golubev

**OF RESIDUAL LIFE OF BUILDINGS AND STRUCTURES
OF HISTORICAL BUILDINGS AS ONE OF THE CRITERIONS
FOR THE PROVISION OF RELIABILITY**

One of the key criteria for reliability parameters in the works for the conservation of buildings or structures, which are the objects of cultural heritage (historical and cultural monuments) of the Russian Federation, is the residual resource. The concept of residual life of the building or structure is complex and includes the following components: residual life as physical and mechanical characteristics of the building; residual life as the residual value of the building; residual life as a value that reflects the customer value of the building.

The article discusses existing approaches to forecasting residual resource of buildings and structures as physical and mechanical characteristics of the building using the theory of probability and deterministic calculations. Identified advantages and disadvantages of methods for calculating the residual resource based on the principle of "safe use of technical state" based on the evaluation of the technical state of the object in the parameters, ensuring its safe and reliable operation in accordance with the regulatory or project documentation. Analyzed the complex method of calculating the residual resource for buildings of historic buildings. A possible solution to this problem by introducing additional parameters to account for them in the calculation of the residual resource.

Голубев Константин Викторович (Пермь, Россия) – канд. техн. наук, доцент кафедры строительного инжиниринга и материаловедения, Пермский национальный исследовательский политехнический университет (614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29, e-mail: nedstf@pstu.ru).

Golubev Konstantin (Perm, Russian Federation) – Ph.D. in Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Construction engineering and Material Science, Perm National Research Polytechnic University (614990, Perm, Komsomolsky av., 29, e-mail: nedstf@pstu.ru).