

## ОСОБЕННОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОСТАТОЧНОГО РЕСУРСА ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ ИСТОРИЧЕСКОЙ ЗАСТРОЙКИ

Голубев К.В., Шестакова Е.А.

<sup>1</sup> ФГБОУ ВПО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет», Пермь, Россия (614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29), golubev\_kv@mail.ru

В статье ставится вопрос о методах определения остаточного ресурса памятников истории и культуры. В статье рассмотрено комплексное понятие остаточного ресурса зданий и сооружений. Представлены основные подходы к определению остаточного ресурса как физико-механической характеристики зданий и сооружений, выявлены их основные положения, преимущества и недостатки. Подробно рассмотрен подход определения остаточного ресурса зданий, основанный на принципе «безопасной эксплуатации по техническому состоянию». Выделены ключевые параметры технического состояния, позволяющие определить величину остаточного ресурса. Рассмотрены основные методы расчета остаточного ресурса по критериям предельных состояний. Выделены основные недостатки вышеперечисленных методов и ограниченность их применения для памятников истории и культуры. Предложен один из возможных путей решения данной проблемы с помощью разработки комплексной методики, учитывающей все недочеты имеющихся на сегодняшний день способов оценки остаточного ресурса.

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

## FEATURES OF DETERMINING THE RESIDUAL LIFE OF BUILDINGS AND STRUCTURES OF HISTORIC BUILDINGS

Golubev K.V., Shestakova E.A.

Perm National Research Polytechnic University, Perm, Russia, (614990, Perm, Komsomolsky av., 29), golubev\_kv@mail.ru

The article raises the question of how the definition of residual life of monuments of history and culture. The paper considers the complex concept of residual life of buildings and structures. The basic approaches to the determination of residual life as physical and mechanical characteristics of buildings and structures, identified their main points, advantages and disadvantages. Considered in detail the approach determining the residual life of buildings, based on the principle of "safe use technical condition." Highlights the key parameters of technical condition, possible to determine the remaining life. The basic methods of calculating the residual resource to limit state criteria. The basic disadvantages of the above methods and the limitations of their use for historical and cultural monuments. A possible solution to this problem by developing a comprehensive methodology that takes into account all the shortcomings of currently available methods of residual life assessment.

Keywords: the definition of a residual resource, the historical buildings, the technical condition, criteria of limit States of the object, the limitations of the methods.

Для рационального долгосрочного планирования и финансирования работ по сохранению зданий или сооружений, являющихся объектами культурного наследия (памятников истории и культуры РФ), актуальным вопросом является определение их остаточного ресурса.

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

Оценка остаточного ресурса конструкций зданий является в настоящее время одной из злободневных задач в сфере обеспечения безопасности эксплуатации зданий и сооружений,

требующих своего разрешения в целях осуществления прогнозирования во времени величины этого ресурса вплоть до исчерпания зданием потребительной ценности.

### **Цель исследования**

Целью исследования является обзор существующих методов расчета остаточного ресурса зданий и сооружений и оценка возможности их применения для зданий исторической застройки (объектов культурного наследия).

### **Результаты исследования**

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.

Вопросы, связанные с определением остаточной стоимости здания и его потребительской ценности (привлекательность), являются в большей степени экономическими.

Остановимся более подробно на понятии 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.

Рассмотрим 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 [11, 12, 14, 15, 16]:

- использование теории вероятности;
- использование детерминированных расчетов.

Задача об остаточном ресурсе здания в детерминированной постановке не даёт точного вида формулы, а позволяет лишь выбирать готовые формулы, обычно многочлены различной степени. Однако многочлен слишком низкой степени даёт 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 [12].

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 её надёжности и долговечности.

Основные положения вероятностного подхода [2, 3, 12, 13]:

- внешние условия эксплуатации конструкции являются случайными процессами;
- за основной показатель надёжности 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 [6] является составной частью определения остаточного ресурса.

Наиболее распространенным подходом к данному вопросу является использование принципа «безопасной эксплуатации по техническому состоянию» [1, 7-10]. Данный подход основан на оценке технического состояния объекта по параметрам, обеспечивающим его надежную и безопасную эксплуатацию в соответствии 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 обследования или экспертной оценки, а также 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, прогнозированием его технического состояния по определяющим параметрам до достижения предельного состояния.

Во время прогнозирования величины остаточного ресурса должно быть обеспечено одновременное выполнение следующих условий [7-9]:

- 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.

Например, критериями расчета остаточного ресурса зданий с металлическими каркасами являются:

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

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 [7-9]:

- **расчет остаточного ресурса в зависимости от физического износа** - общая оценка повреждаемости сооружения производится по формуле

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

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 поданным обследованием

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

где  $t_{\phi}$  – срок службы в годах на момент проведения экспертизы.

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

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

- **расчет остаточного ресурса по статической прочности;**

Остаточный ресурс по критерию предельного состояния составляет

$$T_k(T_{\phi}) = \frac{\sigma_b(t) - [\sigma]}{\alpha_{\sigma}}, \quad (5)$$

где  $\sigma_b(t)$  – предел прочности на момент проведения обследования;

$[\sigma]$  – предел прочности по расчету;

$\alpha_{\sigma}$  – скорость снижения механических свойств.

Скорость снижения механических свойств

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

где  $\sigma_b$  – 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

$$T_u = \frac{T_{\phi} * [N]}{N_{\phi}}, \quad (8)$$

где  $T_{\phi}$  – время эксплуатации с момента начала эксплуатации;

$[N]$  – допустимое количество циклов нагружения;

$N_3$  – 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, а также не учитывают такие существенные при определении остаточного ресурса факторы, как:

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

### **Заключение**

Существующие комплексные методики оценки остаточного ресурса [4, 5] 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).

Влияние негативных факторов 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 определяется в рамках НТСС путем проведения периодического инструментального контроля отдельных показателей строительных конструкций.

### **Список литературы**

1. Федеральный закон «О промышленной безопасности опасных производственных объектов» от 21.07.1997 № 116-ФЗ.
2. Болотин В.В. Методы теории вероятностей и теории надёжности в расчётах сооружений. – М.: Стройиздат, 1982. – 352 с.
3. Вентцель Е.С. Теория вероятностей. – М.: Наука, Физматгиз, 1969. – 576 с.
4. Гордеева О.Г. Расчетно-экспериментальные методы экспресс-оценки физического износа и остаточного ресурса зданий и сооружений: диссертация кандидата технических наук: 05.26.02. – Новогорск, 2002. – 142 с.
5. Каверин А.А. Методика расчета остаточного ресурса сооружения по результатам обследования. // Обследование зданий и сооружений: проблемы и пути их решения: материалы научно-практической конференции. 18 октября 2013 г. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2013. – С. 33-38.
6. Мельчаков А.П. Расчёт и оценка риска аварии и безопасного ресурса строительных объектов. – Челябинск: ЮУрГУ, 2006. – 49 с.
7. Пермяков М.Б. Расчет и оценка остаточного ресурса зданий. // Современные строительные технологии, конструкции и материалы: Сб. науч. тр. / Под ред. М.Б. Пермякова. – Магнитогорск: ФГБОУ ВПО «МГТУ им.Г.И.Носова», 2011. – С. 17-22.
8. Пермяков М.Б. Методика расчета остаточного ресурса зданий на опасных производственных объектах. // Актуальные проблемы архитектуры, строительства и дизайна: материалы международной науч.-практ. конф. / под общ. ред. Пермякова М.Б., Чернышовой Э.П. – Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2012. – С. 169-175.
9. Пермяков М.Б., Чернышова Э.П. и др. Актуальные проблемы строительства: монография. – Магнитогорск, 2013.
10. Рекомендации по оценке надежности строительных конструкций зданий и сооружений по внешним признакам. – М.: ЦНИИПРОМЗДАНИЙ, 2001.
11. Румшицкий Л.З. Математическая обработка результатов эксперимента. – М.: Наука, 1971. – 192 с.
12. Сущев С.П., Адаменко И.А., Самолинов Н.А. Остаточный ресурс конструкций здания (сооружения) и возможные методы его оценки // Электронный журнал: Предотвращение аварий зданий и сооружений. ООО «Велд», 2009. URL <http://www.pamag.ru/prensa/ostatok-resurs>.
13. Самолинов Н.А. Определение устойчивости контура выработки с учётом случайного характера исходных параметров. // Объекты гражданской обороны. Защитные сооружения. – 1983. - №2 (56).

14. Самолинов Н.А. Использование неразрушающих методов контроля прочности конструкций при определении остаточного ресурса зданий и сооружений. // Сейсмостойкое строительство, безопасность сооружений. – 2002. - №3.
15. Сатьянов В.Г., Пилипенко П.Г., Французов В.А., Сатьянов С.В., Котельников В.С. Способ определения остаточного ресурса промышленных дымовых и вентиляционных труб. // Безопасность труда в промышленности. – 2007. - №12. – С. 34-39.
16. Шматков С.Б. Способ расчёта остаточного ресурса строительных конструкций. – ТехНАДЗОР. – 2007. - №5.

**Рецензенты:**

Мелехин А.Г., д.т.н., профессор, зав. кафедрой «ТВ и ВВ», Пермский национальный исследовательский университет, г. Пермь;

Харитонов В.А., д.т.н., профессор, зав. кафедрой «СИМ», Пермский национальный исследовательский университет, г. Пермь.