УДК 69

© А. Г. Черных, д-р техн. наук, профессор
 © Ю. В. Пухаренко, д-р техн. наук, профессор
 © Д. И. Корольков, аспирант
 (Санкт-Петербургский государственный
 архитектурно-строительный университет,
 Санкт-Петербург, Россия)
 E-mail: korol9520@yandex.ru
 © В. В. Белов, д-р техн. наук, профессор
 (АО «Атомпроект», Санкт-Петербург, Россия)
 E-mail: vvblov@atomproekt.com

DOI 10.23968/1999-5571-2020-17-5-82-86

© A. G. Chernykh, Dr. Sci. Tech., Professor
 © Yu. V. Pukharensko, Dr. Sci. Tech., Professor
 © D. I. Korolkov, post-graduate student
 (Saint Petersburg State University
 of Architecture and Civil Engineering,
 St. Petersburg, Russia)
 E-mail: korol9520@yandex.ru
 © V. V. Belov, Dr. Sci. Tech., Professor
 (JSC "Atomproekt", St. Petersburg, Russia)
 E-mail: vvblov@atomproekt.com

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА А В УРАВНЕНИИ ОЦЕНКИ ОСТАТОЧНОГО РЕСУРСА ПО ВОЗРАСТУ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

DETERMINATION OF COEFFICIENT A IN THE EQUATION FOR ESTIMATING THE RESIDUAL RESOURCE BY THE AGE OF BUILDING STRUCTURES

Рассматривается коэффициент А из уравнения оценки остаточного ресурса по возрасту строительных конструкций, учитывающий состояние строительного объекта в процессе ввода объекта в эксплуатацию, т. е. качество выполненных строительно-монтажных работ. Авторами предложено два способа для определения этого коэффициента. Первый способ использует метод экспертных оценок, на основе которого выведены уравнения для расчета коэффициента А. Второй способ основан на методе оценки качества выполнения строительно-монтажных работ, предложенном А. Х. Байбуриным. У каждого из двух способов имеются свои достоинства и недостатки. На основе предложенных подходов авторами был разработан алгоритм для оценки коэффициента А, для того чтобы устранить или же снизить влияние этих недостатков.

Ключевые слова: остаточный ресурс, строительные конструкции, условия эксплуатации, обследование конструкций, физический износ.

The article considers coefficient A from the equation for estimating the residual resource of the construction facility by the age of building structures taking into account the condition of the construction object during commissioning, that is the quality of construction-installation work performed. The authors propose using two techniques for determining the coefficient A. The first technique uses the method of expert estimates. Based on it, the equations for calculating the coefficient A are derived. The second technique for estimating the coefficient A is based on the method of assessing the quality of construction and installation, proposed by A. Kh. Bayburin. In each of the proposed methods, there are advantages and disadvantages. Based on the proposed approaches, the authors have developed an algorithm for estimating coefficient A in order to eliminate or reduce the influence of the disadvantages.

Keywords: residual resource, building structures, operating conditions, structural inspection, physical deterioration.

Возможность прогнозировать остаточный ресурс строительных конструкций является в настоящее время очень важной задачей. Для ее решения используются различные подходы. Одни применяют косвенные параметры строительных конструкций (например, физический износ), другие — прямые (например, прочность). В основе того или иного метода используются как линейные, так и нелинейные зависимости.

Среди множества подходов к оценке величины остаточного ресурса наиболее простым, с математической точки зрения, можно считать подход, который позволяет определить значение остаточного ресурса по сроку эксплуатации. Общий вид уравнения с вводом ряда допущений будет иметь вид [1, 2]

$$T_{\text{ост}} = A \left(-\frac{1}{B} t_{\text{экспл}} + C \cdot T_{\text{н}} \right). \quad (1)$$

Коэффициент A учитывает состояние строительного объекта в процессе ввода объекта в эксплуатацию, т. е. качество выполненных строительно-монтажных работ [1, 2].

Коэффициент B учитывает условия эксплуатации объекта [1, 2].

Коэффициент C учитывает отклонение предельного возраста строительной конструкции от значения, установленного в нормативных документах [1, 2]. Это можно представить в виде уравнения

$$T_{\text{пред}} = C \cdot T_n. \quad (2)$$

В общем случае данные коэффициенты являются функциями вида $f(x_1; x_2; \dots; x_n)$, где $x_1, x_2, \dots, x_n$ — параметры, от которых зависит коэффициент.

На основе этого уравнения была разработана методика расчета остаточного ресурса строительных конструкций по их возрасту (фактическому или хронологическому) [2]. В данной методике был установлен ряд ограничений на величину данных коэффициентов [2], но при этом не был описан алгоритм расчета этих коэффициентов. В настоящей статье авторами в развитие разработанной методики предлагается алгоритм оценки коэффициента A .

Оценка значения коэффициента B производится эмпирически на основе изучения эксплуатационной документации и результатов обследования объекта капитального строительства. Причина, по которой авторы не рассматривают коэффициент B , заключается в том, что в теории эксплуатации зданий и сооружений нет аналитической зависимости в общем виде, которая позволяла бы количественно оценить значение коэффициента B с учетом множества действующих факторов.

Для того чтобы назначить коэффициент A , необходимо дать комплексную оценку качества СМР. Это можно сделать двумя способами.

Первый способ основан на методе экспертных оценок.

$$П = \frac{\alpha_1 Q_1 + \alpha_2 Q_2 + \dots + \alpha_n Q_n}{\alpha_1 + \alpha_2 + \dots + \alpha_n}, \quad (3)$$

где $\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n$ — коэффициенты, учитывающие значимость отдельных параметров (коэффициенты значимости) [3]; $Q_1, Q_2, \dots, Q_n$ — оценка степени соответствия отдельных параметров требованиям проекта, нормативных документов

и стандартов [3]; n — количество оцениваемых параметров.

В зависимости от значения комплексной оценки определяется коэффициент A (табл. 1).

Таблица 1
Зависимость коэффициента A от комплексного показателя $П$

Комплексный показатель $П$	Коэффициент A	Уравнение аппроксимации
<3	0	—
3,00–3,50	0,50–0,69	$A = 0,38П - 0,64$
3,51–4,50	0,70–0,89	$A = 0,192П + 0,026$
4,51–5,00	0,90–1,00	$A = 0,2041П - 0,0205$

Достоинства данного подхода:

1. Быстрая оценка качества СМР.
2. Простота выполнения оценки качества СМР. Требуется минимум инструментального контроля.

Недостатком такого способа оценки качества СМР можно считать то, что он основан по большей части на субъективных оценках тех или иных параметров. Соответственно величина комплексного показателя у разных специалистов, проводящих оценку качества выполненных СМР, может сильно отличаться. Если же касаться обследования зданий и сооружений, отслуживших уже много лет, то проблема встает еще острее, потому что, как показывает статистика, исполнительная документация на такие объекты капитального строительства либо полностью отсутствует, либо она есть не в полном комплекте.

Для того чтобы минимизировать величину ошибки при использовании данного способа оценки, необходимо:

1. Проводить ультразвуковую дефектоскопию для выявления внутренних дефектов, которые однозначно можно было бы отнести по времени появления к периоду возведения здания или сооружения; определить прочность конструкции и при необходимости рассчитать несущую способность и т. д.
2. По возможности привлечь как можно большее число экспертов к оценке качества выполненных СМР.

3. Применить известные методики оценки физического износа строительных конструкций¹ [4–9].

Данные меры позволяют в значительной мере снизить неопределенность результатов при проведении обследования зданий и сооружений, особенно когда на объект нет полного комплекта проектной и исполнительной документации.

Второй способ оценки качества СМР был предложен А. Х. Байбуриным (рисунок). В отличие от предыдущего способа, здесь показатель качества СМР принимает значения от 0 до 1. Поэтому данный показатель можно изначально считать коэффициентом A .

Уравнение будет иметь вид

$$A = \frac{0,3K_{СК} + 0,15(K_{Д} + K_{Т}) + 0,05(K_{Х} + K_{С}) + 0,5(K_{R} + K_{P})}{1,7}, \quad (4)$$

где $K_{СК}$ — показатель, оценивающий систему качества строительства; $K_{Д}$ — показатель бездефектности технологических процессов СМР; $K_{Т}$ — показатель точности процессов; $K_{Х}$ и $K_{С}$ — показатели стабильности процессов по отноше-

нию соответственно к систематическим и случайным погрешностям (отношение числа стабильных параметров к их общему числу); K_{R} — показатель снижения несущей способности; K_{P} — показатель снижения конструктивной надежности в результате допущенных дефектов [10].

Главным недостатком применения такого показателя при проведении обследования можно считать сложность его применения. По сути, сами входящие в формулу показатели являются функциями вида $f(x_1; x_2; \dots; x_n)$, где $x_1, x_2, \dots, x_n$ — параметры, от которых зависит данный показатель. Поэтому применение данного подхода возможно только тогда, когда имеются достоверные сведения, позволяющие однозначно оценить каждый из параметров.

На основании рассмотрения предложенных способов оценки коэффициента A авторы предлагают следующий **алгоритм действий по его определению**.

1. Изучить проектную и исполнительную документацию на объект капитального строительства, проанализировать результаты обследования.
2. Выбрать способ расчета коэффициента A на основании изучения имеющейся проектной

Структура комплексной оценки качества строительно-монтажных работ [10]

¹ ВСН 53-86(р). Правила оценки физического износа жилых зданий. Утв. Приказом Госгражданстроя при Госстрое СССР от 24.12.1986 № 446. М., 1987. 54 с.

Таблица 2

Варианты расчета коэффициента А в зависимости от полноты исходных данных по проекту

№	Исходные данные по проекту	Варианты расчета			
		2.1	2.2	2.3	2.4
1	Наличие проектной и исполнительной документации	Полный комплект		Неполный комплект, но позволяет в целом оценить качество выполненных СМР	Нет или практически нет
2	Наличие документов, позволяющих оценить систему качества организации, бездефектность технологических процессов СМР, точность и стабильность процессов по отношению, соответственно, к систематическим и случайным погрешностям	Есть	Нет	Нет	Нет
3	Способ расчета коэффициента А	2-й способ, формула (4)	1-й и 2-й способы сразу, за конечное значение принять среднее: $A = \frac{A_1 + A_2}{2}$	1-й и 2-й способы сразу (как в п. 2.2), за конечное значение принять минимальное из двух: $A = \min \begin{cases} A_1 \\ A_2 \end{cases}$	1-й способ, формула (3). Коэффициент А определяется по уравнению аппроксимации согласно табл. 1

и исполнительной документации и результатов обследования.

Здесь возможны следующие варианты (2.1, 2.2, 2.3, 2.4 — табл. 2) при условии, что в каждом из них результаты обследования позволяют оценить снижение несущей способности и надежности.

Для вариантов 2.2 и 2.3 при расчете по формуле (4) необходимо принимать средние статистические показатели, позволяющие оценить систему качества организации, бездефектность технологических процессов СМР, точность и стабильность процессов по отношению, соответственно, к систематическим и случайным погрешностям, характерные для данного региона.

3. По результатам обследования и изучения документации на объект капитального строительства назначить или не назначить ограничения [1, 2].

4. По результатам расчета и на основании установленных ограничений назначается окончательная величина коэффициента А.

Предложенный алгоритм позволяет оценить качество СМР и назначить величину коэффициента А, что позволит в конечном итоге повысить точность и достоверность определения остаточного ресурса.

Библиографический список

1. Корольков Д. И., Корольков Д. Д. Выявление закономерности и описание зависимости величины остаточного ресурса от хронологического (фактического) возраста строительных конструкций // Вестник Евразийской науки. 2019. Т. 11. № 2. URL: <https://esj.today/PDF/17SAVN219.pdf>.
2. Корольков Д. И., Корольков Д. Д. Методика расчета остаточного ресурса строительных конструкций по их возрасту (фактическому или хронологическому) // Вестник Евразийской науки. 2019. Т. 11. № 3. URL: <https://esj.today/PDF/19SAVN319.pdf>.
3. Пособие по оценке качества строительномонтажных работ при строительстве железнодорожных и автодорожных тоннелей / разраб. Б. А. Бондарович и др. М.: ЦНИИС, 1985. 53 с.

4. Горшков А. С. Модель физического износа строительных конструкций // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. 2014. № 12 (191). С. 34–37.

5. Соколов В. А. Оценка технического состояния и физического износа строительных конструкций с использованием вероятностных методов технической диагностики // Известия высших учебных заведений. Строительство. 2014. № 1 (661). С. 94–100.

6. Бelykh А. В. Методика определения величины физического износа нежилых зданий для целей массовой оценки // Журнал правовых и экономических исследований. 2013. № 2. С. 78–86.

7. Хайруллин В. А., Салов А. С., Яковлева Л. А., Валишина В. В. Учет величины физического износа объекта технической эксплуатации при оценке действительной стоимости здания // Наукоедение. 2015. Т. 7, № 5 (30). URL: <http://naukovedenie.ru/PDF/219TVN515.pdf>

8. Шмелев Г. Д. Экспертный метод прогнозирования остаточного срока службы строительных конструкций по их физическому износу // Строительство и реконструкция. 2014. № 3 (53). С. 31–39.

9. Мищенко В. Я., Головинский П. А., Драпалюк Д. А. Прогнозирование темпов износа жилого фонда на основе мониторинга дефектов строительных конструкций // Научный вестник Воронежского гос. архит.-строит. ун-та. Строительство и архитектура. 2009. № 4 (16). С. 111–117.

10. Байбурин А. Х. Комплексная оценка качества строительно-монтажных работ // Вестник Южно-Уральского гос. ун-та. Серия: Строительство и архитектура. 2005. № 13 (53). С. 68–70.

References

1. Korol'kov D. I., Korol'kov D. D. *Vyyavlenie zakonomernosti i opisanie zavisimosti velichiny ostatochnogo resursa ot khronologicheskogo (fakticheskogo) vozrasta stroitel'nykh konstruktsiy* [Identification of regularities and description of the dependence of the residual resource value on the chronological (actual) age of building structures]. *Vestnik Evraziyskoy nauki – Bulletin of Eurasian science*, 2019, vol. 11, no. 2. Available at: <https://esj.today/PDF/17SAVN219.pdf>

2. Korol'kov D. I., Korol'kov D. D. *Metodika rascheta ostatochnogo resursa stroitel'nykh konstruktsiy po ikh vozrastu (fakticheskomu ili khronologicheskomu)* [Method of calculating the residual resource of building structures by their age (actual or chronological)]. *Vestnik Evraziyskoy nauki – Bulletin of Eurasian science* – 2019, vol. 11, no. 3. Available at: <https://esj.today/PDF/19SAVN319.pdf>

3. Bondarovich B. A., et al. *Otsenka kachestva stroitel'no-montazhnykh rabot pri stroitel'stve zheleznodorozhnykh*

i avtodorozhnykh tonneley [Assessing the quality of construction and installation work in the construction of railway and road tunnels]. Moscow, TsNIIS Publ., 1985, 53 p.

4. Gorshkov A. S. *Model' fizicheskogo iznosa stroitel'nykh konstruktsiy* [Model of physical wear of building structures]. *Stroitel'nye materialy, oborudovanie, tekhnologii XXI veka – Construction materials, equipment, technologies of the XXI century*, 2014, no. 12 (191), pp. 34–37.

5. Sokolov V. A. *Otsenka tekhnicheskogo sostoyaniya i fizicheskogo iznosa stroitel'nykh konstruktsiy s ispol'zovaniem veroyatnostnykh metodov tekhnicheskoy diagnostiki* [Assessment of the technical condition and physical wear of building structures using probabilistic methods of technical diagnostics]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Stroitel'stvo – News of higher educational institutions. Construction*, 2014, no. 1 (661), pp. 94–100.

6. Belykh A. V. *Metodika opredeleniya velichiny fizicheskogo iznosa nezhilykh zdaniy dlya tseley massovoy otsenki* [Method of determining the physical depreciation of residential buildings for the purposes of mass appraisal]. *Zhurnal pravovykh i ekonomicheskikh issledovaniy – Journal of legal and economic research*, 2013, no. 2, pp. 78–86.

7. Khayrullin V. A., Salov A. S., Yakovleva L. A., Valishina V. V. *Uchet velichiny fizicheskogo iznosa ob'ekta tekhnicheskoy ekspluatatsii pri otsenke deystvitel'noy stoimosti zdaniya* [Accounting for the physical wear of the technical operation object when evaluating the actual cost of the building]. *Naukovedenie – Science Studies*, 2015, vol. 7, no. 5 (30). Available at: <http://naukovedenie.ru/PDF/219TVN515.pdf>

8. Shmelev G. D. *Ekspertniy metod prognozirovaniya ostatochnogo sroka sluzhby stroitel'nykh konstruktsiy po ikh fizicheskomu iznosu* [Expert Method for predicting the remaining service life of building structures based on their physical wear]. *Stroitel'stvo i rekonstruktsiya – Construction and reconstruction*, 2014, no. 3 (53), pp. 31–39.

9. Mishchenko V. Ya., Golovinskiy P. A., Drapalyuk D. A. *Prognozirovaniye tempov iznosa zhilogo fonda na osnove monitoringa defektov stroitel'nykh konstruktsiy* [Forecasting the rate of the housing stock wear based on monitoring of structural defects]. *Nauchniy vestnik Voronezhskogo gos. arkh.-stroit. un-ta. Stroitel'stvo i arkhitektura – Scientific Bulletin of the Voronezh State University. Construction and architecture*, 2009, no. 4 (16), pp. 111–117.

10. Bayburin A. Kh. *Kompleksnaya otsenka kachestva stroitel'no-montazhnykh rabot* [Comprehensive quality assessment of construction works]. *Vestnik Yuzhno-Ural'skogo gos. un-ta. Seriya: Stroitel'stvo i arkhitektura – Bulletin of the South Ural State University. Series: Construction and architecture*, 2005, no. 13 (53), pp. 68–70.