

Вестник Евразийской науки / The Eurasian Scientific Journal <https://esj.today>

2019, №2, Том 11 / 2019, No 2, Vol 11 <https://esj.today/issue-2-2019.html>

URL статьи: <https://esj.today/PDF/49SAVN219.pdf>

Ссылка для цитирования этой статьи:

Гаврильев И.М., Корольков Д.И., Гравит М.В. Модифицированная методика расчета остаточного ресурса с использованием экспоненциального распределения // Вестник Евразийской науки, 2019 №2, <https://esj.today/PDF/49SAVN219.pdf> (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус., англ.

For citation:

Gavrilev I.M., Korolkov D.I., Gravit M.V. (2019). Modified method for calculating residual resource using exponential distribution. *The Eurasian Scientific Journal*, [online] 2(11). Available at: <https://esj.today/PDF/49SAVN219.pdf> (in Russian)

УДК 05.23.00

ГРНТИ 05.23.01

Гаврильев Иван Макарович¹

ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого», Санкт-Петербург, Россия
Студент 2-го курса кафедры «Строительство уникальных зданий и сооружений» – магистрант
E-mail: gavrilev-ivan@rambler.ru

РИНЦ: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=915491

Корольков Дмитрий Игоревич

ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого», Санкт-Петербург, Россия
Студент 2-го курса кафедры «Строительство уникальных зданий и сооружений», магистрант
E-mail: koro19520@yandex.ru

РИНЦ: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=945627

Гравит Марина Викторовна

ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого», Санкт-Петербург, Россия
Доцент
Кандидат технических наук, доцент
E-mail: marina.gravit@mail.ru

ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-1071-427X>

SCOPUS: <http://www.scopus.com/authid/detail.url?authorId=56826013600>

Модифицированная методика расчета остаточного ресурса с использованием экспоненциального распределения

Аннотация. В данной статье авторами был исследован метод оценки остаточного ресурса на основе экспоненциального распределения. Авторами отмечены достоинства и недостатки данного метода. Также были проведены расчеты срока службы до капитального ремонта условного строительного объекта. В первом расчетном случае авторами было рассмотрена ситуация характерная в инженерной практике применения данного метода. Во втором случае рассматривался теоретический случай, который должен иметь место при проведении расчетов. Было выявлено расхождение между этими двумя расчетами.

Названы причины подобного расхождения и предложены способы его устранения. Отмечены недостатки каждого из предложенных способов. Касается второго способа проведен

¹ Instagram: [mokuton95](https://www.instagram.com/mokuton95)

повторный расчет остаточного ресурса с использованием тех же исходных данных для принятого условного объекта.

На основании проведенного исследования авторами была разработана модифицированная методика расчета остаточного ресурса с использованием экспоненциального распределения. В данной методике прописано, когда проводится укрупненный расчет, а когда поэлементный. Также описано как выбираются элементы строительных конструкций для укрупненного расчета, как назначаются коэффициенты значимости, как и когда назначать «фактический» или хронологический возраст конструкций и как осуществить переход от «фактического» к хронологическому возрасту конструкций. Описано что представляет из себя поправка к величине постоянного физического износа. Также описано как назначать остаточный ресурс для объекта капитального строительства в целом.

Авторами выделены достоинства и недостаток предложенной методики, а также дана рекомендация по проверке получившихся значений с использованием других методик расчета остаточного ресурса.

Данное исследование было проведено в рамках диссертационного исследования по тематике магистерской диссертации.

Ключевые слова: физический износ; строительные конструкции; остаточный ресурс; фактический возраст конструкций; календарный (хронологический) возраст конструкций; постоянная физического износа; повреждаемость; коэффициенты значимости

Исследование метода расчета остаточного ресурса на основе экспоненциального распределения

Часто в инженерной практике возникает необходимость определить: сколько объект капитального строительства сможет прослужить без капитального ремонта. Для того чтобы оценить данное время применяют метод, основанный на распределении Пуассона.

Остаточный ресурс определяется по формуле:

$$T_{\text{ост}} = T - t_{\text{фак}} \quad (1)$$

$t_{\text{фак}}$ – фактический срок эксплуатации;

T – срок службы до капитального ремонта².

Остаточный срок службы до капитального ремонта равен:

$$T = \frac{0,16}{\lambda} \quad (2)$$

где: 0,16 – значение, соответствующее ограниченно-работоспособному состоянию (или вероятности безотказной работы 0,85 согласно таблице 1¹);

λ – постоянная физического износа, которая определяется:

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

где t_{ϕ} – срок эксплуатации в годах на момент обследования¹;

² Рекомендации по оценке надежности строительных конструкций зданий и сооружений по внешним признакам. М: 2001. – 106 с.

γ – относительная надежность¹ или же по-другому вероятность безотказной работы, определяемая по формуле:

$$\gamma = 1 - \varepsilon \quad (4)$$

Повреждаемость здания определяется:

$$\varepsilon = \frac{\alpha_1 * \varepsilon_1 + \alpha_2 * \varepsilon_2 + \dots + \alpha_i * \varepsilon_i}{\alpha_1 + \alpha_2 + \dots + \alpha_i} \quad (5)$$

Достоинства данного метода.

1. Дифференцированное рассмотрение конструкций. В частном случае можно рассмотреть каждую конструкцию по отдельности, приняв, что повреждаемости остальных элементов равны нулю, т. е. рассмотреть ситуацию, когда влияние на техническое состояние объекта в целом оказывается только одна конструкция.

Тогда формула повреждаемости примет вид:

$$\varepsilon = \frac{\alpha_1 * \varepsilon_1}{\alpha_1} = \varepsilon_1 \quad (6)$$

2. Простота получения исходных данных. Для назначения величины повреждаемости достаточно провести визуальное обследование строительных конструкций.

3. Универсальность. Применим к любым конструкциям и при любых условиях эксплуатации.

Недостатки:

1. Субъективность. Назначение величины повреждаемости производится специалистом эмпирически на основе своего опыта, знаний и собственной оценке технического состояния конструкций.

2. Не учитывает спонтанные факторы (отказы по общей причине). Здесь подразумеваются не учет структурных изменений (например, хрупкости), которые не влияют на состоянии конструкции при нормальных условиях эксплуатации, но могут привести к моментальному или значительному разрушению при сложении нескольких неблагоприятных факторов одновременно.

3. Сложно либо невозможно дифференцированное рассмотрение конструкций. Связана эта проблема с тем, что данный метод рассматривает хронологическое время жизни конструкций, а не «фактическое». Поэтому при одинаковом значении повреждаемости различных типов конструкций (плиты, стены, фермы и т. д.), сделанных из разных материалов (кирпич, бетон и т. д.), они будут иметь одинаковый срок эксплуатации до капитального ремонта. В реальности такого не происходит.

О том, к чему могут привести подобные проблемы, проиллюстрируем на конкретных примерах расчета величину срока эксплуатации до капитального ремонта (см. табл. 1 и 2). Исходные данные примем следующие. Пусть общая повреждаемость здания будет равна 0.05. Сначала примем, что величина повреждаемости остается неизменной все время эксплуатации (первый расчетный случай). Затем на каждые 5 лет будем добавлять 0.01 (второй расчетный случай). Срок эксплуатации от момента ввода здания будем брать с интервалом 5 лет (10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50, 55, 60).

Таблица 1

Результаты расчета по первому расчетному случаю

Повреждаемость	Относительная надежность $y = 1 - \varepsilon$	Срок эксплуатации	Постоянная физического износа	Срок службы до капитального ремонта
0.05	0.95	10	0,00513	31,68
		15	0,00342	47,53
		20	0,00256	63,37
		25	0,00205	79,21
		30	0,00171	95,05
		35	0,00147	110,89
		40	0,00128	126,74
		45	0,00114	142,58
		50	0,00103	158,42
		55	0,00093	174,26
		60	0,00085	190,11

Источник: составлено авторами

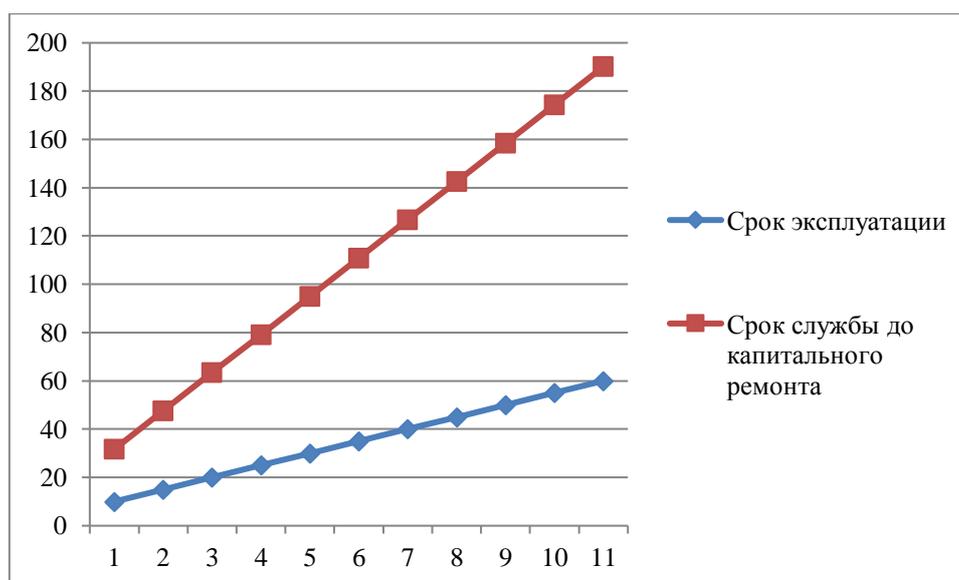


Рисунок 1. График зависимости остаточного ресурса от срока эксплуатации по первому расчетному случаю (источник: составлено авторами)

Проанализировав данный график (см. рис. 1) получаем:

при $\lambda = \text{const}$ и $t_{\phi} \rightarrow \infty$

$$\lambda = \lim_{t_{\phi} \rightarrow \infty} \frac{-\ln \gamma}{t_{\phi}} = 0 \quad T = \lim_{\lambda \rightarrow 0} \frac{0,16}{\lambda} = \infty \quad (7)$$

Таблица 2

Результаты расчета по второму расчетному случаю

Повреждаемость	Относительная надежность $y = 1 - \varepsilon$	Срок эксплуатации	Постоянная физического износа	Срок службы до капитального ремонта
0,05	0,95	10	0,00513	31,68
0,06	0,94	15	0,00413	39,40
0,07	0,93	20	0,00363	44,79
0,08	0,92	25	0,00334	48,73
0,09	0,91	30	0,00314	51,70
0,10	0,90	35	0,00301	53,99
0,11	0,89	40	0,00291	55,78

Повреждаемость	Относительная надежность $y = 1 - \varepsilon$	Срок эксплуатации	Постоянная физического износа	Срок службы до капитального ремонта
0,12	0,88	45	0,00284	57,21
0,13	0,87	50	0,00279	58,35
0,14	0,86	55	0,00274	59,27
0,15	0,85	60	0,00271	60,00

Источник: составлено авторами

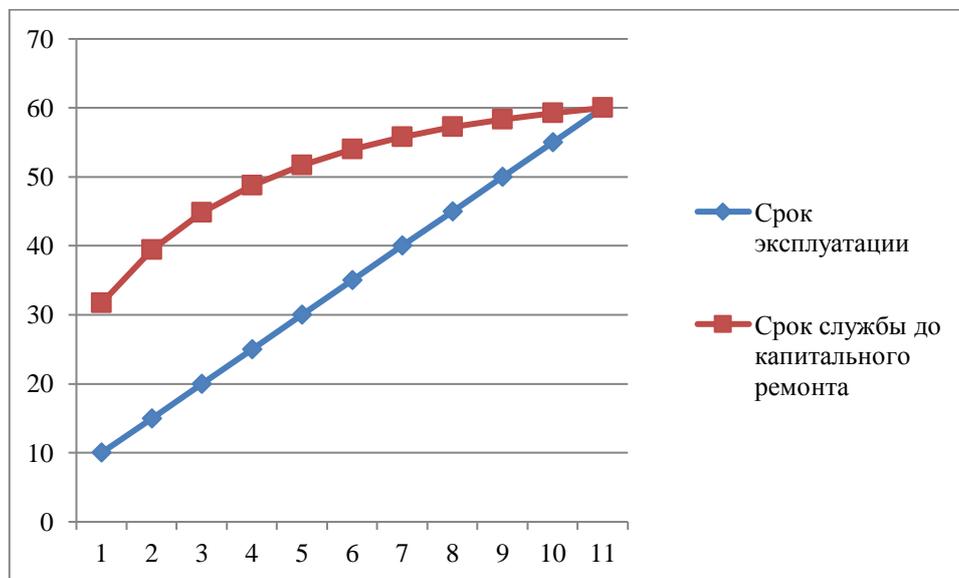


Рисунок 2. График зависимости остаточного ресурса от срока эксплуатации по второму расчетному случаю (источник: составлено авторами)

Первый расчетный случай (см. рис. 1) описывает ситуацию, которая имеет место быть в практике обследования и при регулярных осмотрах строительных конструкций. Второй случай (см. рис. 2) описывает теоретические предпосылки данного метода.

Почему же получается такое различие между теорией и практикой. Первой причиной можно считать то, что «фактический» возраст строительных конструкций не совпадает с хронологическим (календарным). Второй – не учет отказов по общей причине.

Встает вопрос: как же привести в соответствие теорию с практикой? Здесь можно предложить несколько подходов (усовершенствований данного метода).

Первый заключается в том, чтобы использовать переводной коэффициент, который связывал бы хронологическое и «фактическое» время жизни конструкций.

$$t_{\phi} = c * t_{\text{фак}} \quad (8)$$

$t_{\text{фак}}$ – «фактическое» время жизни строительных конструкций;

c – коэффициент перевода «фактического» времени жизни конструкции в хронологическое, определяется эмпирически.

Благодаря такому приему, мы, по сути, изменяем систему координат и приходим к теоретическому случаю (рисунок 2). Недостатком такого подхода можно считать то, что приходится вводить две величины, которые определяются эмпирически, т. е. имеют субъективный характер. На точность определения подобного соотношения будет влиять опыт и квалификация специалиста, проводящего данный расчет.

Стоит отметить, что данный подход предполагает поэлементный расчет остаточного ресурса строительных конструкций, поскольку «фактический» возраст и соответственно

переводной коэффициент у каждого элемента будет свой. Поэтому если не стоит такая задача, то берется среднее значение величины «фактического» возраста здания или сооружения. При этом также учитываем коэффициенты значимости.

$$(t_{\text{фак}})_{\text{сред}} = \frac{t_{\text{фак } 1} * \alpha_1 + t_{\text{фак } 2} * \alpha_2 + \dots + t_{\text{фак } i} * \alpha_i}{\alpha_1 + \alpha_2 + \dots + \alpha_i} \quad (9)$$

После этого находится средний переводной коэффициент для всего объекта в целом.

$$(c)_{\text{сред}} = \frac{t_{\text{ф}}}{(t_{\text{фак}})_{\text{сред}}} \quad (10)$$

Таким образом, устраняется проблема, когда не всегда можно было с помощью данного метода провести поэлементный расчет остаточного ресурса строительных конструкций.

Важно отметить, что данный прием не работает в том случае, если рассматривается относительно небольшой интервал времени.

Недостатками метода с таким приемом усовершенствования остаются субъективность и не учет отказов по общей причине.

Второй подход заключается в том, чтобы ввести поправочный коэффициент к постоянной физического износа. Физический смысл, такой поправки заключается в том, что мы учитываем неконтролируемые (спонтанные) отказы конструкций (так называемые отказы по общим причинам). Тогда общая постоянная физического износа будет определяться согласно бета-модели:

$$\lambda = \frac{-\ln \gamma}{t_{\text{ф}}} + \lambda_c \quad (11)$$

Повторим результаты расчета по первому расчетному случаю, но с поправочным коэффициентом для постоянной физического износа (см. табл. 3).

Таблица 3

Результаты расчета остаточного ресурса с поправочным коэффициентом к постоянной физического износа

Повреждаемость	Относительная надежность $y = 1 - \varepsilon$	Срок эксплуатации	Отказ по общей причине	Постоянная физического износа с учетом отказа по общей причине	Срок службы до капитального ремонта
0.05	0.95	5	0,001	0,01126	14,44
		10	0,002	0,00713	22,80
		15	0,003	0,00642	25,32
		20	0,004	0,00656	24,76
		25	0,005	0,00705	23,05
		30	0,006	0,00771	21,08
		35	0,007	0,00847	19,20
		40	0,008	0,00928	17,51
		45	0,009	0,01014	16,03
		50	0,010	0,01103	14,74
		55	0,011	0,01193	13,62
		60	0,012	0,01285	12,64

Источник: составлено авторами

Как видно из данного графика (см. рис. 3) даже в случае проведения локальных восстановительных мероприятий (текущих ремонтов) накопление структурных повреждений со временем накапливается и становится ведущим фактором в процессе разрушений

строительных конструкций. Недостаток у данного подхода тот же, что и у предыдущего, введение субъективной величины. Единственное различие в том, что такая величина всего одна.

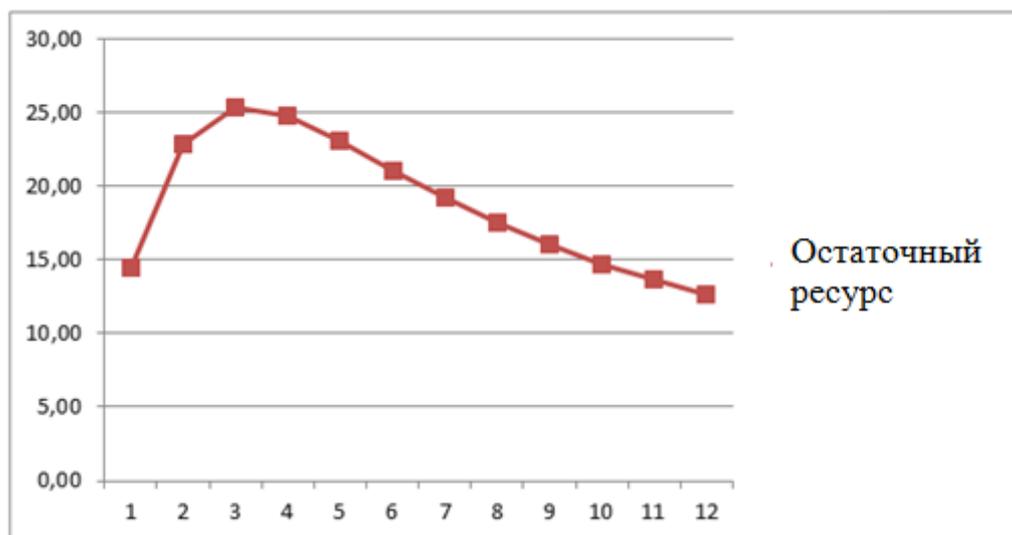


Рисунок 3. График зависимости остаточного ресурса от срока эксплуатации с учетом отказа по общей причине (источник: составлено авторами)

В итоге, благодаря такому приему метод расчета остаточного ресурса с использованием распределения Пуассона учитывает отказы по общим причинам, а также благодаря различной величине поправки к постоянной физического износа для разных конструкций позволяет производить поэлементный расчет.

Третий подход это использование сразу двух приведенных выше приемов.

Разработка модифицированной методики расчета остаточного ресурса с использованием экспоненциального распределения

На основе проведенного анализа существующего метода расчета остаточного ресурса по экспоненциальному распределению, определенных причин его недостатков и разработанных способов их устранения предлагается следующая модифицированная методика расчета остаточного ресурса с использованием экспоненциального распределения.

Алгоритм по данной модифицированной методике будет следующий.

1. Определяем исходные данные для расчета.

1.1 Определяется уровень расчета: поэлементно или укрупненно.

Зависит от объема проведенного обследования зданий и сооружений.

1.1.1 Расчет проводится укрупненно.

Если проведено только визуальное обследование и/или выборочное инструментальное. Здесь возможны два случая.

Первый случай. Если проведено только визуальное обследование, необходимо считать для всего объекта (здания или сооружения) в целом.

Второй случай. Если помимо визуального обследования (осмотра) проведено выборочное инструментальное обследование, то расчет проводится укрупнено по группам

элементов в зависимости от их конструктивной схемы (плита, балка, колонна, ферма, стена и т. д.) и материала (кирпич, бетон, дерево и т. д.).

1.1.2 Расчет проводится поэлементно.

Если проведено детальное инструментальное обследование (сплошное).

Если объект изначально состоит или разделен на несколько отдельных блоков, то определение уровня расчета производится для каждого блока аналогично согласно п. 1.1.

1.2 Выбираются те элементы строительных конструкций, для которых будет вестись расчет остаточного ресурса.

1.2.1 Если расчет проводится укрупненно.

В этом случае выбираются «критические» элементы, т. е. такие элементы, отказ которых приведет к отказу всего объекта (здания или сооружения).

Группировку строительных элементов выполняем по типу конструкции (колонна, балка, ферма и т. д.) и материалу (кирпич, бетон и т. д.).

Если физический износ разных однотипных элементов не одинаков (в практике обследования это практически всегда так), то необходимо назначить величину физического износа и осуществить деление строительных конструкций не только по типу конструкций и материалу, но еще и по величине физического износа.

Здесь можно выделить два случая назначения величины физического износа.

Первый случай. Если здание или сооружение имеет небольшие габариты и малое количество этажей, то назначается физический износ Φ_k для каждого однотипного элемента, а за конечный результат для каждого элемента в целом принимается среднее значение.

$$\Phi_{\text{ост.об.}} = \frac{1}{n} * \sum_{i=1}^n \Phi_{k i} \quad (12)$$

n – количество однотипных элементов;

$\Phi_{k i}$ – физический износ однотипного элемента.

Второй случай. Если здание или сооружений имеет значительные размеры в плане и/или большое количество этажей (3 и более), то в этом случае объект делится на отдельные сектора (блоки или секции). Для каждого однотипного элемента секции назначается величина физического износа Φ_k и за конечный результат для каждого элемента секции в целом принимается среднее значение согласно формуле (12). Таким образом, в данном случае дальнейший расчет остаточного ресурса будет вестись посекторально.

Если же в расчетах будет использован хронологический возраст, то назначать величину физического износа не требуется.

1.2.2 Если расчет проводится поэлементно.

В этом случае считаются все элементы, для которых производилось визуальное (осмотр) и инструментальное (определение прочности, влажности и т. д.) освидетельствование.

К однотипным следует относить ряд элементов, которые относятся к одному типу конструкции (колонна, балка, ферма и т. д.) и состоят из одного и того же строительного материала (кирпич, бетон и т. д.).

Если имеются элементы строительных конструкций, которые находятся в ограниченно-работоспособном и/или аварийном состоянии и при этом их число незначительно и в целом они

не оказывают сильного влияния на здание или сооружение, то они исключаются из расчета остаточного ресурса. Условно будем считать, что их остаточный ресурс равен нулю.

Если объект изначально состоит или разделен на несколько отдельных блоков, то выбор элементов для расчета остаточного ресурса производится для каждого блока аналогично согласно п. 1.2.

1.3 Назначаем коэффициенты значимости для каждой конструкции.

Данные коэффициенты назначаются по п. 2.5¹.

1.4 Определяем «фактический» или хронологический возраст (срок эксплуатации) для каждой конструкции.

«Фактический» возраст строительных конструкций необходимо назначать, если рассматривается весь временной интервал срока эксплуатации строительных конструкций.

Определение «фактического» возраста строительных конструкций производится по нормативным документам или иным научно-экспериментальным материалам [1–6].

Если необходимо провести оценку остаточного ресурса только для здания или сооружения в целом и используется «фактический» возраст, тогда определяем среднее значение «фактического» возраста объекта капитального строительства по формуле:

$$(t_{\text{фак}})_{\text{сред}} = \frac{t_{\text{фак } 1} * \alpha_1 + t_{\text{фак } 2} * \alpha_2 + \dots + t_{\text{фак } i} * \alpha_i}{\alpha_1 + \alpha_2 + \dots + \alpha_i} \quad (9)$$

Если рассматривается только часть временного интервала срок эксплуатации, то в расчет подставляется фактический хронологический возраст объекта.

Данная формула (9) применяется только в случае укрупненного расчета остаточного ресурса. Если проводится поэлементный расчет, то определение среднего «фактического» возраста для всего объекта в целом не производится.

Если объект изначально состоит или разделен на несколько отдельных блоков, то определение среднего «фактического» возраста производится для каждого блока аналогично согласно формуле (9).

Хронологический возраст принимается одинаковым для всех строительных конструкций (элементов) с момента ввода объекта в эксплуатацию. Исключением являются случаи, когда имеются документальные свидетельства замены строительных элементов. Для данных строительных конструкций хронологический срок эксплуатации начинается с момента их ввода в эксплуатацию.

1.5 Определяем переводной коэффициент между «фактическим» и хронологическим возрастом объекта для каждой конструкции.

$$c = \frac{t_{\text{ф}}}{t_{\text{фак}}} \quad (13)$$

Если необходимо провести оценку остаточного ресурса только для здания или сооружения в целом, тогда определяем среднее значение переводного коэффициента.

$$(c)_{\text{сред}} = \frac{t_{\text{ф}}}{(t_{\text{фак}})_{\text{сред}}} \quad (10)$$

Если объект изначально состоит или разделен на несколько отдельных блоков, то определение переводного коэффициента производится для каждого блока аналогично согласно формуле (10).

Переводной коэффициент вычисляется только в том случае, если в расчете будет использоваться «фактический возраст конструкций».

1.6 Назначаем поправочный коэффициент к постоянной физического износа для каждой конструкции.

Поправочный коэффициент в данном случае это величина отказов по общей причине. Данный коэффициент назначается эмпирически в случае отсутствия каких-либо теоретических и экспериментальных данных по тем или иным видам отказов по общей причине.

Если необходимо провести оценку остаточного ресурса только для здания или сооружения в целом, тогда определяем среднее значение поправочного коэффициента к постоянной физического износа по формуле:

$$(\lambda_c)_{\text{сред}} = \frac{\lambda_{c1} * \alpha_1 + \lambda_{c2} * \alpha_2 + \dots + \lambda_{c3} * \alpha_i}{\alpha_1 + \alpha_2 + \dots + \alpha_i} \quad (14)$$

либо назначаем эмпирически.

Если объект изначально состоит или разделен на несколько отдельных блоков, то определение переводного коэффициента производится для каждого блока аналогично согласно формуле (14).

1.7 Назначаем повреждаемости для каждой конструкции (элемента).

Повреждаемость назначается по результатам проведенного обследования.

Если необходимо провести оценку остаточного ресурса только для здания или сооружения в целом, тогда определяем среднее значение поврежденности по формуле:

$$\varepsilon = \frac{\alpha_1 * \varepsilon_1 + \alpha_2 * \varepsilon_2 + \dots + \alpha_i * \varepsilon_i}{\alpha_1 + \alpha_2 + \dots + \alpha_i} \quad (5)$$

2. Вычисляем относительную надежность для каждой конструкции по формуле:

$$y = 1 - \varepsilon \quad (4)$$

Для здания или сооружения в целом необходимо подставлять среднюю относительную повреждаемость.

3. Вычисляем постоянную физического износа для каждой конструкции по формуле:

$$\lambda = \frac{-\ln \gamma}{t_\phi} + \lambda_c \quad (11)$$

Для здания или сооружения в целом необходимо подставлять средние значения данных величин.

4. Вычисляем срок эксплуатации до капитального ремонта по формуле:

$$T = \frac{0,16}{\lambda} \quad (2)$$

Для здания или сооружения в целом необходимо подставлять среднее значение постоянной физического износа.

Остаточный ресурс будет равен:

$$T_{\text{ост}} = T - t_{\text{фак}} \quad (1)$$

5. Проводим анализ полученных результатов и назначаем окончательное значение остаточного ресурса.

5.1 Оценка проводилась укрупнено.

Если оценка остаточного ресурса проводилась укрупнено и по первому расчетному случаю (для всего здания или сооружения в целом), то полученное значение остается без изменений.

Если оценка остаточного ресурса проводилась укрупнено по второму расчетному случаю (по группам элементов в зависимости от их конструктивной схемы и материала), то окончательная величина назначается минимальной из полученных значений.

$$T_{\text{ост.об.}} = \min \begin{cases} T_{\text{ост } 1} \\ \dots \\ T_{\text{ост } i} \end{cases} \quad (15)$$

$T_{\text{ост } i}$ – остаточный ресурс i -го критического элемента.

Примечание. Если объект изначально состоит или разделен на несколько отдельных блоков, то окончательная величина для каждого блока назначается аналогично как представлено в п.5.1. В этом случае величина остаточного ресурса для всего здания будет равна минимальной из полученных значений для каждого блока в целом согласно формуле (15).

5.2 Оценка проводилась поэлементно.

Если оценка остаточного ресурса проводилась поэлементно, то окончательно значения остаточного ресурса назначают в два этапа.

На первом этапе полученные значения остаются для всех данных элементов строительных конструкций. Составляется «карта» остаточных ресурсов строительных элементов.

На втором этапе укрупнено рассчитывается остаточный ресурс по второму расчетному случаю (по группам элементов в зависимости от их конструктивной схемы и материала). Данная величина берется как среднее значение для данного типа элементов.

$$T_{\text{ост.об.}} = \frac{1}{n} * \sum_{i=1}^n T_{\text{ост } i} \quad (16)$$

n – количество однотипных элементов.

Окончательная величина назначается минимальной из полученных значений.

Если принять, что используется хронологический возраст здания, поправочный коэффициент к постоянной физического износа равен нулю и расчет производится укрупненно для всего здания, то в частном случае получается метод оценки остаточного ресурса на основе экспоненциального распределения согласно [1].

У данной методики можно выделить ряд достоинств.

1. Универсальность. Данная методика подходит для расчета остаточного ресурса любых строительных конструкций при любых условиях эксплуатации.

2. Учет отказов по общей причине. Благодаря использования поправочного коэффициента можно учесть деградационные процессы, происходящие с строительными конструкциями, и иные внешние воздействия, оказывающие влияние на их техническое состояние, которые непосредственно сложно или невозможно учесть или устранить. По сути, поправочный коэффициент учитывает течение тех процессов на которые практически нельзя

повлиять, что логично если учитываются отказы по общим причинам в процессе эксплуатации здания или сооружения.

3. Дифференциальный подход при расчете. Данная методика позволяет осуществлять поэлементный расчет строительных конструкций, что дает возможность строить «карты» остаточных ресурсов строительных элементов. Это позволяет грамотно планировать ремонтно-восстановительные работы на объекте.

4. Простота получение исходных данных. Для того чтобы провести расчет достаточно провести только визуальное обследование.

5. Простота расчета. Данная методика проста в использовании и позволяет быстро оценить остаточный ресурс строительных конструкций.

Недостаток у данной методики всего один – субъективность. Если назначение «фактического» срока эксплуатации еще можно обосновать, сославшись на нормативные источники или справочную литературу, то назначение поправочного коэффициента к постоянной физического износа всецело зависит от опыта и квалификации специалиста, проводящего расчет остаточного ресурса. Это связано с отсутствием достаточных сведений об отказах по общим причинам (спонтанных отказах) касаясь строительных конструкций.

Поэтому при проведении расчета остаточного ресурса по данной методике рекомендуется проверять получившиеся значения по другим методам и методикам расчета [7–10].

ЛИТЕРАТУРА

1. Горшков А.С. Модель физического износа строительных конструкций. Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. 2014. № 12 (191). С. 34–37.
2. 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.
3. Белых А.В. Методика определения величины физического износа нежилых зданий для целей массовой оценки. Журнал правовых и экономических исследований. 2013. № 2. С. 78–86.
4. Хайруллин В.А., Салов А.С., Яковлева Л.А., Валишина В.В. Учет величины физического износа объекта технической эксплуатации при оценке действительной стоимости здания // Интернет-журнал «Наукоедение» Том 7. № 5 (30) 2015 [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://naukovedenie.ru/PDF/219TVN515.pdf> (доступ свободный).
5. Шмелев Г.Д. Экспертный метод прогнозирования остаточного срока службы строительных конструкций по их физическому износу. Строительство и реконструкция. 2014. № 3 (53). С. 31–39.
6. Мищенко В.Я., Головинский П.А., Драпалюк Д.А. Прогнозирование темпов износа жилого фонда на основе мониторинга дефектов строительных конструкций. Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Строительство и архитектура. 2009. № 4 (16). С. 111–117.
7. Корольков Д.И. Обследование зданий и сооружений объектов использования атомной энергии при продлении срока их эксплуатации // Обследование зданий и сооружений: проблемы и пути их решения: Материалы VIII международной научно-практической конференции. 13 октября 2017 года. – СПб. Изд-во Политехн. ун-та, 2017. – С. 98–108.
8. Шмелев Г.Д., Головина Н.В. Прогнозирование надежности и остаточного ресурса строительных конструкций с использованием метода линеаризации в условиях ограниченной статической информации. Сборник научных трудов SWorld. 2012. Т. 6. № 4. С. 100–107.
9. 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.
10. Суцев С.П., Адаменко И.А., Самолинов Н.А. Остаточный ресурс конструкций здания (сооружения) и возможные методы его оценки // Предотвращение аварий зданий и сооружений: сб. науч. трудов. Вып. 8. М.: МДП, 2009. С. 320–327.

Gavrilev Ivan Makarovich

Peter the great St. Petersburg polytechnic university, Saint Petersburg, Russia
E-mail: gavrilev-ivan@rambler.ru

Korolkov Dmitry Igorevich

Peter the great St. Petersburg polytechnic university, Saint Petersburg, Russia
E-mail: koro19520@yandex.ru

Gravit Marina Viktorovna

Peter the great St. Petersburg polytechnic university, Saint Petersburg, Russia
E-mail: marina.gravit@mail.ru

Modified method for calculating residual resource using exponential distribution

Abstract. In this article, the authors investigated a method for estimating the residual resource based on an exponential distribution. The authors noted the advantages and disadvantages of this method. Also, calculations were made of the service life to the overhaul of a conditional construction object. In the first computational case, the authors considered a situation characteristic of the engineering practice of this method. In the second case, a theoretical case was considered, which should take place during the calculations. The discrepancy between these two calculations was revealed.

The reasons for this discrepancy are named and ways to eliminate it are proposed. The drawbacks of each of the proposed methods are noted. Regarding the second method, the residual resource was recalculated using the same initial data for the accepted conventional object.

Based on the study, the authors developed a modified method for calculating the residual resource using the exponential distribution. It is written in this method, when the enlarged calculation is carried out, and when it is element-wise. It also describes how elements of building structures are selected for the enlarged calculation, how significance coefficients are assigned, how and when to assign an “actual” or chronological age of structures, and how to make the transition from “actual” to chronological age of structures. It describes what constitutes an amendment to the value of permanent physical wear. It also describes how to assign a residual resource for the capital construction object as a whole.

The authors highlighted the advantages and disadvantages of the proposed method, and also gave a recommendation to check the resulting values using other methods for calculating the residual resource.

This study was conducted in the framework of the dissertation research on the subject of the master's thesis.

Keywords: physical deterioration; building construction; residual resource; the actual age of the structures; calendar (chronological) age of structures; permanent wear and tear; damageability; significance coefficients