

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

2019, №3, Том 11 / 2019, No 3, Vol 11 <https://esj.today/issue-3-2019.html>

URL статьи: <https://esj.today/PDF/19SAVN319.pdf>

**Ссылка для цитирования этой статьи:**

Корольков Д.И., Корольков Д.Д. Методика расчета остаточного ресурса строительных конструкций по их возрасту (фактическому или хронологическому) // Вестник Евразийской науки, 2019 №3, <https://esj.today/PDF/19SAVN319.pdf> (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус., англ.

**For citation:**

Korolkov D.I., Korolkov D.D. (2019). The method of calculating the residual life of building structures by their age (actual or chronological). *The Eurasian Scientific Journal*, [online] 3(11). Available at: <https://esj.today/PDF/19SAVN319.pdf> (in Russian)

УДК 72

**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: korol9520@yandex.ru

РИНЦ: [https://elibrary.ru/author\\_profile.asp?id=945627](https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=945627)

**Корольков Денис Дмитриевич**

ООО «Межотраслевой экспертно-сертификационный, научно-технический и контрольный центр ядерной и радиационной безопасности (РЭСцентр)», Санкт-Петербург, Россия  
Ведущий специалист  
E-mail: Korolkov.deniss@yandex.ru

## **Методика расчета остаточного ресурса строительных конструкций по их возрасту (фактическому или хронологическому)**

**Аннотация.** В данной статье авторами представлена методика, в которой при расчете остаточного ресурса используется зависимость величины остаточного ресурса от возраста строительных конструкций, полученная авторами ранее.

В данной методике прописано, когда проводится укрупненный расчет, а когда поэлементный. Также описано как выбираются элементы строительных конструкций для укрупненного расчета, как назначаются коэффициенты А, В и С, как осуществлять расчет или выбор значения предельного возраста конструкции, как и когда назначать «фактический» или хронологический возраст конструкций.

Авторами были установлены ограничения при назначении коэффициентов А, В, и С. Введение данных ограничений связано с особенностями выполнения строительно-монтажных работ в период строительства объекта капитального строительства, условий эксплуатации объекта, наличием всей технической документации и другими факторами.

Авторами выделены достоинства и недостаток предложенной методики, а также дана рекомендация по проверке получившихся значений с использованием других методик расчета остаточного ресурса. При этом авторы отмечают, что результаты, полученные по данной методике, должны хорошо сходиться с Модифицированной методикой расчета остаточного ресурса с использованием экспоненциального распределения, которая была ранее разработана и опубликована авторами, поскольку данные методики используют один и тот же методический подход.

В дальнейшем на основе того методического подхода, который заложен в данных методиках, можно разработать единую методологию расчета остаточного ресурса, совместно применяя лучшие методы и методики расчета остаточного ресурса, что позволит качественно оценить полученные результаты.

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; нормативный (предельный) срок эксплуатации; уравнение остаточного ресурса от возраста

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]:

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

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

Коэффициент  $B$  учитывает условия эксплуатации объекта [1].

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

$$T_{\text{пред}} = C * T_{\text{н}} \quad (2)$$

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 данный коэффициент.

На основе данного уравнения авторами была разработана методика расчета остаточного ресурса строительных конструкций по их возрасту (фактическому или хронологическому).

Последовательность расчета по данной методике следующая:

### **1. Определяем исходные данные для расчета.**

#### **1.1) Определяется уровень расчета: поэлементно или укрупненно.**

Зависит от объема проведенного обследования зданий и сооружений. Определение уровня расчета производится аналогично как для модифицированной методики расчета остаточного ресурса с использованием экспоненциального распределения [2].

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

Выбор элементов производится аналогично как для модифицированной методики расчета остаточного ресурса с использованием экспоненциального распределения [2].

#### **1.3) Назначаем коэффициенты $A, B, C$ для каждой конструкции.**

Данные коэффициенты назначаются по результатам обследования здания или сооружения.

Коэффициент  $A$  назначается по результатам изучения проектной и исполнительной документации на строительные-монтажные работы на здание или сооружение в диапазоне от 0 до 1. При назначении данного коэффициента важно учитывать факт наличия данной документации, ее полноту, принятые проектные решения, использованные строительные материалы и технологии при строительстве объекта и другие факторы и параметры, которые важны при назначении данного коэффициента.

Также важно установить ряд ограничений на назначаемую величину коэффициента  $A$ .

Первое ограничение. В случае полного или частичного отсутствия проектной и исполнительной документации коэффициент  $A$  следует назначать не более 0,85.

Примечание. Если в ходе проведения обследования был осуществлен расчет несущей способности и по его результатам определено, что она выше минимальных значений, то данное ограничение не применяется.

Второе ограничение. В случае выявления в процессе обследования дефектов и повреждений, которые можно однозначно отнести к дефектам и повреждениям, которые имели место в процессе выполнения строительных-монтажных работ, но при этом они не снижают несущую способность конструкций, но влияют на эксплуатационные характеристики, то коэффициент  $A$  следует назначать не более 0,90.

Третье ограничение. В случае выявления в процессе обследования дефектов и повреждений, которые можно однозначно отнести к дефектам и повреждениям, которые имели место в процессе выполнения строительных-монтажных работ, при этом они снижают несущую способность конструкций (ниже проектных значений), то коэффициент  $A$  следует назначить равным нулю.

Четвертое ограничение. Если срок эксплуатации обследуемого объекта превысил, установленный для него проектный (нормативный) срок эксплуатации, то коэффициент  $A$  следует назначать не более 0,90.

Коэффициент  $B$  назначается по результатам изучения эксплуатационной и исполнительной документации на здание и сооружение, а также по результатам оценки условий эксплуатации на момент проведения обследования.

Исполнительная документация в данном случае включает в себя:

- акты выполненных ремонтно-восстановительных работ;
- проекты реконструкции, перепланировки и переоборудования зданий и сооружений;
- акты сезонных осмотров строительных конструкций;
- отчеты по результатам, проведенных ранее обследованиям и т. д.

Наличие данной документации позволяет специалисту оценить условия эксплуатации объекта на протяжении всего срока его службы. В случае её полной или частичной отсутствию условия эксплуатации принимаются по результатам проведенного обследования.

Так же как и для коэффициента  $A$  установим ряд ограничений на назначаемую величину коэффициента  $B$ .

Первое ограничение. В случае полного или частичного отсутствия исполнительной и эксплуатационной документации коэффициент  $B$  следует назначать не более 0,85.

Второе ограничение. В случае выявления в процессе обследования дефектов и повреждений, которые не снижают несущую способность конструкций, но влияют на эксплуатационные характеристики, то коэффициент  $B$  следует назначать не более 0,80.

Коэффициент  $C$  принимается изначально равным единице. Иное значение данного коэффициента принимается при наличии соответствующего обоснования.

Пример такого обоснования есть в атомной сфере. В этом документе, в частности, сказано «2.1 При достижении ОИАЭ назначенного (или 30-летнего) срока эксплуатации...», т. е. если отсутствует проектная документация, то предельный срок равен 30 годам [1].

Второй случай, когда предельный срок службы рассчитывают по одному или нескольким методам. В этом случае формально определять коэффициент  $C$  не нужно.

Если необходимо провести оценку остаточного ресурса только для здания или сооружения в целом, тогда определяем среднее значение коэффициентов  $A$ ,  $B$ ,  $C$  по формуле:

$$(K)_{\text{сред}} = \frac{K_1 * \alpha_1 + K_2 * \alpha_2 + \dots + K_i * \alpha_i}{\alpha_1 + \alpha_2 + \dots + \alpha_i} \quad (3)$$

где  $K_i$  – коэффициент ( $A$ ,  $B$  или  $C$ );

$\alpha_i$  – коэффициент значимости<sup>1</sup>.

Специалист, проводящий расчет, может назначить иные значения коэффициентов значимости по результатам обследования строительных конструкций.

*Примечание.* Данная формула (3) применяется только в случае укрупненного расчета остаточного ресурса. Если проводится поэлементный расчет, то определение среднего значения коэффициентов для всего объекта в целом не производится.

Если объект изначально состоит или разделен на несколько отдельных блоков, то определение среднего значения коэффициентов для каждого блока производится аналогично по формуле (3) в случае укрупненного расчета остаточного ресурса.

#### **1.4) Определяем предельно допустимый возраст каждой конструкции.**

Здесь возможны два случая.

##### **1.4.1) Предельный возраст принимается в виде определенного значения.**

Если расчет остаточного ресурса производится не для здания или сооружения в целом (укрупненный или поэлементный расчет строительных элементов), то предельный возраст каждой конструкции берется из проектно-конструкторской документации, а точнее из паспорта на данную конструкцию. В случае её отсутствия необходимо брать значения из нормативно-справочной литературы.

Если необходимо провести оценку остаточного ресурса только для здания или сооружения в целом, то принимается нормативный предельный срок эксплуатации, установленный для данного типа объекта капитального строительства в нормативных документах.

##### **1.4.2) Предельный возраст рассчитывается.**

В этом случае выбирается один или несколько методов, позволяющих рассчитать значение предельного срока службы конструкции.

---

<sup>1</sup> Рекомендации по оценке надежности строительных конструкций зданий и сооружений по внешним признакам. М: 2001. – 106 с.

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

«Фактический» возраст строительных конструкций необходимо назначать в том случае, если здание или сооружение превысило свой проектный срок эксплуатации (если предельный срок эксплуатации определялся согласно пункту 1.4.1).

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:

$$(t_{\text{фак}})_{\text{сред}} = \frac{t_{\text{фак } 1} * \alpha_1 + t_{\text{фак } 2} * \alpha_2 + \dots + t_{\text{фак } i} * \alpha_i}{\alpha_1 + \alpha_2 + \dots + \alpha_i} \quad (4)$$

*Примечание.* Данная формула (4) применяется только в случае укрупненного расчета остаточного ресурса. Если проводится поэлементный расчет, то определение среднего «фактического» возраста для всего объекта в целом не производится.

Определение «фактического» возраста строительных конструкций производится по нормативным документам или иным научно-экспериментальным материалам (например, по величине физического износа [3÷8]).

После определения «фактического» возраста здания исчисление возраста строительных конструкций продолжается как для хронологического возраста.

Если здание или сооружение не превысило свой проектный срок эксплуатации и/или предельный срок службы определялся согласно пункту 1.4.2, то в расчет подставляется фактический хронологический возраст здания.

**2. Вычисляем остаточный ресурс по формуле:**

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

**3. Проводим анализ полученных результатов и назначаем окончательное значение остаточного ресурса.**

**3.1) 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.

$$T_{\text{ост.об.}} = \min \begin{cases} T_{\text{ост } 1} \\ \dots \\ T_{\text{ост } i} \end{cases} \quad (5)$$

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

Если объект изначально состоит или разделен на несколько отдельных блоков, то окончательная величина для каждого блока назначается аналогично как представлено в пункте 3.1. В этом случае величина остаточного ресурса для всего здания будет равна минимальной из полученных значений для каждого блока в целом согласно формуле (5).

**3.2) 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.

$$T_{\text{ост.об.}} = \frac{1}{n} * \sum_{i=1}^n T_{\text{ост } i} \quad (6)$$

$n$  – количество однотипных элементов.

Окончательная величина назначается минимальной из полученных значений.

У данной методики можно выделить ряд достоинств и недостатков. Они аналогичны тем, что имеет и модифицированная методика расчета остаточного ресурса с использованием экспоненциального распределения [10], поскольку используют один и тот же методический подход.

Достоинства:

1. Универсальность.
2. Учет отказов по общей причине.
3. Дифференциальный подход при расчете.
4. Простота получения исходных данных.
5. Простота расчета.

Недостаток у данной методики всего один – субъективность. Если назначение предельного возраста и срока эксплуатации еще можно обосновать, сославшись на нормативные источники или справочную литературу, то назначение коэффициентов всецело зависит от опыта и квалификации специалиста, проводящего расчет остаточного ресурса.

Поэтому при проведении расчета остаточного ресурса по данной методике рекомендуется проверять получившиеся значения по другим методам и методикам расчета [9÷10]. При этом результаты, полученные по данной методике, должны хорошо сходиться с Модифицированной методикой расчета остаточного ресурса с использованием экспоненциального распределения [2], поскольку данные методики используют один и тот же методический подход.

В дальнейшем на основе того методического подхода, который заложен в данных методиках, можно разработать единую методологию расчета остаточного ресурса, совместно применяя лучшие методы и методики расчета остаточного ресурса, что позволит качественно оценить полученные результаты.

На основе конкретного примера расчета<sup>2</sup> покажем сходимость данной методики с Модифицированной методикой расчета остаточного ресурса с использованием экспоненциального распределения [2].

---

<sup>2</sup> ВСН 53-86(р) Правила оценки физического износа жилых зданий. Утв. Приказом Госгражданстроя при Госстрое СССР от 24.12.1986 N 446 М.: 1987 – 54 с.

*Краткое описание конструктивного решения<sup>2</sup>.*

Металлическая дымовая труба  $H = 67.15$  м (инв. № 2495) доменной печи №2 доменного цеха ПАО «ММК им. Ильича» находится в эксплуатации около 35 лет (дата ввода в эксплуатацию – январь 1978 г.). Срок ее эксплуатации превышает нормативный срок службы, составляющий для сооружений данного типа 30 лет. Дымовая труба обслуживает 4 воздухонагревателя доменной печи №2 полезным объемом  $1033 \text{ м}^3$ .

Ствол дымовой трубы выполнен высотой  $H = 59.55$  м из металлических листов ВстЗпсб переменной толщины по высоте, изменяющейся от  $\delta = 16$  мм у основания до  $\delta = 8$  мм в верхней части сооружения.

Фундамент выполнен в виде пространственного рамного постаменты из монолитного железобетона на 4-х колоннах.

Футеровка ствола трубы толщиной в 1/2 кирпича выполнена звеньями на всю высоту ствола от основания до отм.  $H = +67.150$  м. Материал – шамотный кирпич класса Б. Теплоизоляционная прослойка между стволом и футеровкой – толщиной около 53 мм с засыпкой из диатомовой крошки.

Температура отводимых газов по проекту –  $+400 \text{ }^\circ\text{C}$  при допускаемой кратковременной температуре –  $+600 \text{ }^\circ\text{C}$ . Состав отводимых газов:  $\text{CO}_2 - 19 \%$ ;  $\text{H}_2\text{O} - 9 \%$ ;  $\text{N}_2 - 71 \%$ ;  $\text{O}_2 - 1 \%$ .

Продолжительность цикла эксплуатации дымовой трубы соответствует продолжительности эксплуатации обслуживаемой доменной печи.

Количество подключаемых к трубе газоходов – один. Газоход – надземный, металлический диаметром 3.300 м, футерованный шамотным кирпичом класса Б на толщину 114 мм с изоляцией от металла листовым асбестом общей толщиной 24 мм. Отметка подключения газохода на уровне продольной оси –  $+9.750$  м.

Металлическая гарнитура трубы включает ходовую лестницу с ограждением, 3 светофорные площадки, расположенные на отметках  $+31.150$  м,  $50.150$  м, и  $65.150$  м, 4 промежуточные площадки для отдыха, а также конструкции молниезащиты в виде трех молниеприемников, приваренных к стволу в верхней части.

*Заключение о техническом состоянии строительных конструкций сооружения.*

1. Металлическая дымовая труба  $H = +67.15$  м (инв. № 2495) доменной печи №2 доменного цеха ПАО «ММК им. Ильича» эксплуатируется с 1978 года в сложных условиях воздействия климатических и высоких технологических температур, агрессивного воздействия отводимых дымовых газов и окружающей среды.

...

5. Характеристики фактических значений толщины стенок ствола, в целом, соответствуют значениям, заложенным в проект на строительство трубы, и отражают степень коррозионного износа ствола на протяжении длительного периода эксплуатации. Максимальный коррозионный износ стенок достигает 26 % в металле верхних царг вблизи верхнего обреза ствола.

...

8. Состояние футеровки ствола оценивается **удовлетворительное (работоспособное)**. Отмечается наличие в кладке отдельных кирпичей с поверхностными разрушениями деструктивного характера (отслоения лещадками) на глубину до 10 мм.

9. В целом, техническое состояние конструкций ствола металлической дымовой трубы  $H = 67.15$  м (инв. № 2495) доменной печи № 2 доменного цеха ПАО «ММК им. Ильича»

оценивается на период выполнения настоящей работы как **удовлетворительное (работоспособное)**. Обследованная дымовая труба нуждается в проведении текущего ремонта конструкций лестницы и ее ограждений с восстановлением антикоррозионной защиты всех металлоконструкций.

На основании эти исходных данных произведем расчет остаточного ресурса строительных конструкций по данным методикам.

Сначала выполним расчет по модифицированной методике [2].

### 1. Определяем исходные данные.

#### 1.1 Определяем уровень расчета: поэлементно или укрупненно.

Уровень расчета: укрупнено по группам элементов в зависимости от их конструктивной схемы и материала, т. к. проведено визуальное и выборочное инструментальное обследование.

#### 1.2 Выбираем элементы строительных конструкций, для которых будет вестись расчет остаточного ресурса.

Элементы, для которых будет производится расчет остаточного ресурса:

- фундамент – пространственный рамный постамент из монолитного железобетона на 4-х колоннах;
- футеровка – кирпичная;
- ствол – металлический из листов ВстЗпсб переменной толщины по высоте, изменяющейся от  $\delta = 16$  мм у основания до  $\delta = 8$  мм в верхней части сооружения;

#### 1.3 Назначаем коэффициенты значимости.

Коэффициенты значимости примем согласно п. 2.5 [4]:

Фундаменты + Колонны –  $\alpha = 8 + 3 = 11$ ;

Ствол (металлический) –  $\alpha = 2$ ;

Футеровка (кирпичная облегчённая) –  $\alpha = 3$ .

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

Примем срок хронологический возраст каждой конструкции 35 лет (возраст всего объекта).

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

Поскольку принят хронологический возраст конструкций, вычисление переводного коэффициента не требуется.

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

Фундаменты + Колонны –  $\lambda_c = 0,005$ . Поправка к каждому элементу опоры металлической трубы составляет  $\lambda_c = 0,001$ . В силу того, что каждый элемент такой опоры (рамный постамент) является критическим, т. е. его отказ приведет к отказу всего сооружения, производим суммирование поправок для опоры в целом. В итоге получаем  $\lambda_c = 0,001 * 5 = 0,005$ .

Ствол (металлический) –  $\lambda_c = 0,005$ ;



Футеровка (кирпичная облегчённая) –  $\lambda_c = 0,02$ ;

1.7 Назначаем повреждаемости для каждой конструкции (элемента).

На основании представленных выводов в отчете<sup>3</sup> назначаем для каждой строительной конструкции повреждаемость равную 0.05.

2. Вычисляем относительную надежность для каждой.

Поскольку принято, что повреждаемости равны для всех строительных конструкций, то относительная надежность также будет равна для всех выбранных элементов строительных конструкций.

$$y = 1 - \varepsilon = 1 - 0.05 = 0.95$$

3. Вычисляем постоянную физического износа для каждой конструкции.

Фундаменты + Колонны.

$$\lambda = \frac{\ln J}{t_{\phi}} + \lambda_c = \frac{\ln 0,95}{35} + 0,005 = 0,00547$$

Ствол (металлический).

$$\lambda = \frac{\ln J}{t_{\phi}} + \lambda_c = \frac{\ln 0,95}{35} + 0,005 = 0,00547$$

Футеровка (кирпичная облегчённая).

$$\lambda = \frac{\ln J}{t_{\phi}} + \lambda_c = \frac{\ln 0,95}{35} + 0,02 = 0,02147$$

4. Вычисляем остаточный ресурс.

Фундаменты + Колонны.

$$t = \frac{0,16}{\lambda} = \frac{0,16}{0,00547} = 29,25 \text{ лет}$$

Ствол (металлический).

$$t = \frac{0,16}{\lambda} = \frac{0,16}{0,00547} = 29,25 \text{ лет}$$

Футеровка (кирпичная облегчённая).

$$t = \frac{0,16}{\lambda} = \frac{0,16}{0,02147} = 7,45 \text{ лет}$$

Теперь проведем расчет по методике расчета остаточного ресурса строительных конструкций по их возрасту (фактическому или хронологическому).

1. Определяем исходные данные.

1.1 Определяем уровень расчета: поэлементно или укрупненно.

Аналогично как для модифицированной методики [2].

---

<sup>3</sup> Отчет о создании научно-технической продукции по договору 2012-11-СВРС/4366 от 14.11.2012 г. «Комплексное инженерное обследование конструкций металлической дымовой трубы Н = 67.15 м (инв. №2495) доменной печи №2 доменного цеха ПАО «Мариупольский металлургический комбинат им. Ильича» с разработкой заключения об их техническом состоянии, рекомендаций по ремонту и последующей эксплуатации».

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

Аналогично как для модифицированной методики [2].

1.3 Назначаем коэффициенты  $A$ ,  $B$ ,  $C$  для каждой конструкции.

Коэффициент  $A$  примем равным 0.90, поскольку срок эксплуатации обследуемого объекта превысил, установленный для него проектный (нормативный) срок эксплуатации (ограничение № 4).

Коэффициент  $B$  примем равным 0.70, поскольку по результатам обследования установлено, что условия эксплуатации являются агрессивными.

Коэффициент  $C$  примем равным единице.

1.4 Определяем предельно допустимый возраст каждой конструкции.

Предельный срок будем определять согласно п. 1.4.1 (назначим в виде определенного значения).

Поскольку объект превысил проектный срок эксплуатации, будем считать, что предельный возраст равен сроку между капитальными ремонтами конструктивных элементов зданий и сооружений<sup>4</sup>.

Предельные сроки службы равны:

Фундаменты (ж/б рамный постамент) – 40 лет;

Ствол (металлический). – 40 лет;

Футеровка (кирпичная облегчённая) – 10 лет;

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

Поскольку объект превысил свой проектный срок эксплуатации, то определим «фактический срок эксплуатации каждой конструкции. Определим «фактический» возраст по рис. 1. Физический износ примем для всех конструкций равный 20 %. Тогда «фактический» возраст будет равен:

Фундаменты + Колонны – 6 лет.

Ствол (металлический) – 6 лет.

Футеровка (кирпичная облегчённая) – 1 год.

2. Вычислим остаточный ресурс по формуле (получена после подстановки в уравнение (1) всех коэффициентов):

$$T_{\text{ост}} = 0,9 \cdot \left( T_{\text{н}} - \frac{t_{\text{экс}}}{0,7} \right)$$

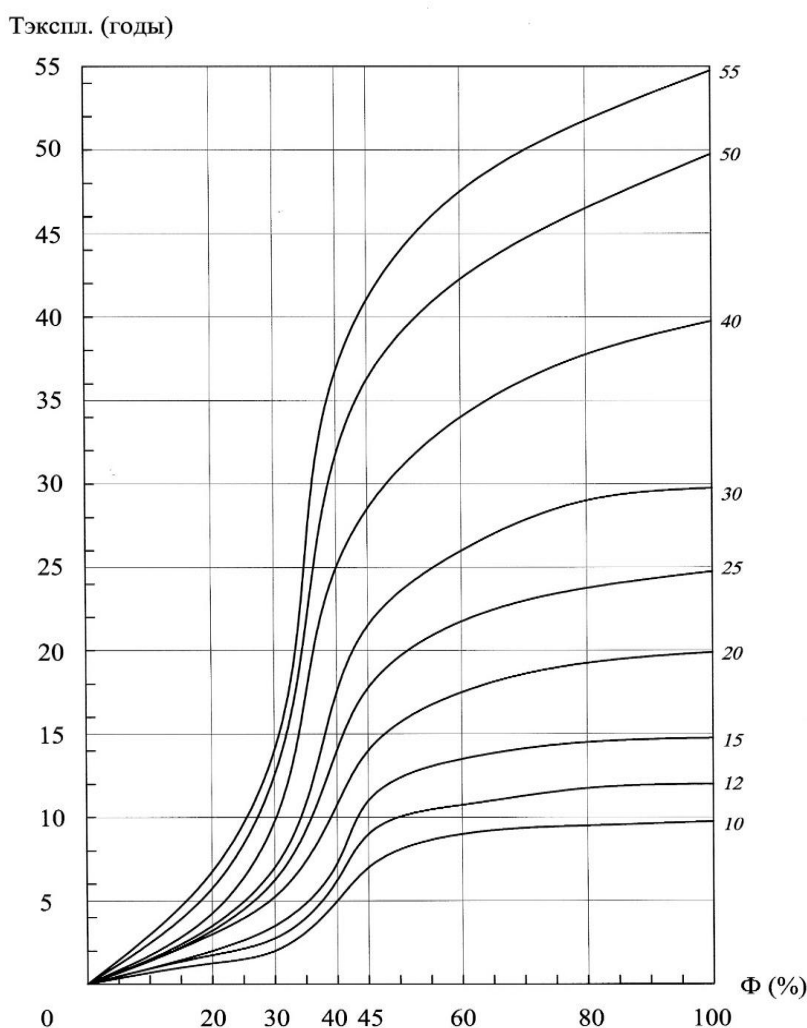
В результате получаем следующие величины остаточного ресурса для каждого элемента.

$$\text{Фундаменты + Колонны} - T_{\text{ост}} = 0,9 \cdot \left( 40 - \frac{6}{0,7} \right) = 28,29 \text{ лет}$$

<sup>4</sup> МДС 13-14.2000 Положение о проведении планово-предупредительного ремонта производственных зданий и сооружений. М: 1974. – 73 с.

Ствол (металлический) –  $T_{ост} = 0,9 \cdot \left(40 - \frac{6}{0,7}\right) = 28,29$  лет.

Футеровка (кирпичная облепённая) –  $T_{ост} = 0,9 \cdot \left(10 - \frac{1}{0,7}\right) = 7,71$  лет



**Рисунок 1.** Зависимость физического износа элементов строительных конструкций от срока эксплуатации объекта (при сроках службы объектов, равных 10÷55 лет)<sup>5</sup>

Анализ полученных результатов.

Сравним разработанную методику с модифицированной методикой расчета остаточного ресурса с использованием экспоненциального распределения. Разброс значений будем оценивать относительно среднего значения полученных величин, т. к. в теории математической статистики среднее значение считается наиболее близким к истинному значению.

Применение в данных методиках разных зависимостей (линейной и линейной) позволяет исключить факторов, которые могли бы повлиять на результат расчета по двум методикам сразу, что свидетельствует о достоверности полученных результатов.

<sup>5</sup> ВСН 53-86(р) Правила оценки физического износа жилых зданий. Утв. Приказом Госгражданстроя при Госстрое СССР от 24.12.1986 N 446 М.: 1987 – 54 с.

Таблица 1

**Сравнение результатов полученных по модифицированной методике расчета остаточного ресурса с использованием экспоненциального распределения и разработанной методике расчета остаточного ресурса строительных конструкций по их возрасту (фактическому или хронологическому)**

Элемент строительных конструкций	Величина остаточного ресурса элемента		Среднее значение	Разность результата относительно среднего (отклонение от среднего)
	Модифицированная методика с использованием экспоненциального распределения	Разработанная методика по возрасту конструкций		
Фундаменты (ж/б)	29,25	28,29	28,77	1,67 %
Футеровка (кирпичная облегчённая)	7,45	7,71	7,58	1,72 %
Ствол (металл.)	29,25	28,29	28,77	1,67 %

*Источник: составлено авторами*

Поскольку оценка остаточного ресурса проводилась укрупнено по второму расчетному случаю (по группам элементов в зависимости от их конструктивной схемы и материала), то окончательная величина остаточного ресурса принимается равной **7 годам**.

Как видно из анализа полученных результатов отклонение от среднего результата незначительно, следовательно, расчет проведен корректно.

## ЛИТЕРАТУРА

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 №2, <https://esj.today/PDF/17SAVN219.pdf> (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус., англ.
2. 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.
3. Горшков А.С. Модель физического износа строительных конструкций. Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. 2014. № 12 (191). С. 34–37.
4. 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.
5. Белых А.В. Методика определения величины физического износа нежилых зданий для целей массовой оценки. Журнал правовых и экономических исследований. 2013. № 2. С. 78–86.
6. 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 «Наукovedение» Том 7. № 5 (30) 2015 [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://naukovedenie.ru/PDF/219TVN515.pdf> (доступ свободный).
7. Шмелев Г.Д. Экспертный метод прогнозирования остаточного срока службы строительных конструкций по их физическому износу. Строительство и реконструкция. 2014. № 3 (53). С. 31–39.
8. 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.
9. 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.
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.

**Korolkov Dmitry Igorevich**

Peter the great Saint Petersburg polytechnic university, Saint Petersburg, Russia  
E-mail: korol9520@yandex.ru

**Korolkov Denis Dmitrievich**

Interbranch certificate-expert, scientific-research and control centre of nuclear and radiation safety (RECcentre)  
Saint Petersburg, Russia  
E-mail: Korolkov.deniss@yandex.ru

## **The method of calculating the residual life of building structures by their age (actual or chronological)**

**Abstract.** In this article, the authors present a technique in which the calculation of the residual resource uses the dependence of the magnitude of the residual resource on the age of building structures, obtained by the authors earlier.

In this method it is written when the enlarged calculation is carried out, and when element-wise. It also describes how the elements of building structures are selected for the enlarged calculation, how the A, B and C coefficients are assigned, how to calculate or select the value of the maximum age of the structure, how and when to designate the “actual” or chronological age of the structures.

The authors set limits on the assignment of A, B and C ratios. The introduction of these restrictions is related to the specifics of construction and installation works during the construction of the capital construction facility, the operating conditions of the facility, the presence of all technical documentation and other factors.

The authors highlighted the advantages and disadvantages of the proposed methodology, and also gave a recommendation to verify the resulting values using other methods for calculating the residual resource. At the same time, the authors note that the results obtained by this method should converge well with the Modified method for calculating the residual resource using the exponential distribution, which was previously developed and published by the authors, since these methods use the same methodical approach.

In the future, on the basis of the methodological approach that is laid down in these methods, you can develop a unified methodology for calculating the residual resource, jointly applying the best methods and methods for calculating the residual resource, which will allow to qualitatively evaluate the results obtained.

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; standard (limit) life; residual resource equation of age