

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/17SAVN219.pdf>

Ссылка для цитирования этой статьи:

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.

For citation:

Korolkov D.I., Korolkov D.D. (2019). Identification of patterns and description of the dependence of the value of the residual resource from the chronological (actual) age of building structures. *The Eurasian Scientific Journal*, [online] 2(11). Available at: <https://esj.today/PDF/17SAVN219.pdf> (in Russian)

УДК 05.23.00

ГРНТИ 05.23.01

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

Корольков Денис Дмитриевич

ООО «РЭСцентр», Санкт-Петербург, Россия
Ведущий специалист
E-mail: Korolkov.deniss@yandex.ru

Выявление закономерности и описание зависимости величины остаточного ресурса от хронологического (фактического) возраста строительных конструкций

Аннотация. В данной статье авторами было проведено исследование зависимости остаточного ресурса от возраста строительных конструкций. При проведении исследования было принято предположение о линейном характере данной зависимости. Для выявления зависимости использовался регрессивный анализ и метод индукции. Изначально авторы исходили из предположения, что остаточный ресурс находится в некотором временном интервале, ограниченном предельным возрастом самих строительных конструкций и некой минимальной величиной, задаваемой среднеквадратичным отклонением от предельного срока службы.

Затем авторы рассмотрели ряд частных случаев, задавая координаты времени эксплуатации и остаточного ресурса ему соответствующего. Для простоты расчета брались граничные точки осей абсцисс и ординат. Затем используя общепринятые формулы регрессивного анализа для нахождения линейной функции по заданным координатам были получены линейные уравнения для каждого расчетного случая. После чего авторами был проведен анализ получившихся уравнений и обобщение результатов путем введения соответствующих коэффициентов. Затем данные обобщающие уравнения были доказаны в общем случае.

Авторами был определен физический смысл введенных коэффициентов. Указаны диапазоны их возможных значений. Также описана особенность применения данного уравнения при использовании «фактического», а не календарного (хронологического) возраста

строительных конструкций. Это особенность возникает при преодолении строительных конструкций предельного назначенного срока их эксплуатации, когда по результатам обследования установлена возможность их дальнейшей эксплуатации. Также дано пояснение по нахождению «фактического» срока эксплуатации (возраста конструкций).

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

Любая строительная конструкция имеет некий предельный срок эксплуатации. Этот предельный срок эксплуатации ограничивается либо периодами проведения капитального ремонта [1], либо ограничивается нормативными сроками службы всего здания или сооружения в целом или отдельных конструктивных элементов [2; 3]. Зная его и данные о сроке эксплуатации (возрасте) здания или сооружения можно оценить их остаточный ресурс. Это предположение, хотя и является логичным, имеет ряд моментов, на которые нужно обратить внимание.

Во-первых, заявленный предельный возраст конструкций на практике отличается от заявленного. Это связано с тем, что данная величина является некой средней величиной (наиболее вероятной), поскольку каждая конструкция имеет индивидуальные особенности при изготовлении. Эти особенности связаны с тем, что работы выполняют специалисты разной квалификации и используются строительные материалы с разным составом в процентном соотношении.

Во-вторых, год службы конструкции не равен в общем случае одному календарному году. Это связано с тем, что строительные конструкции имеют защитные покрытия, которые оберегают их от техногенных и природных воздействий. При их же отсутствии негативные факторы ускоряют деградацию конструкций.

На основании выше сказанного можно написать два уравнения.

Первое уравнение.

$$T_{\text{ост } 1} = T_n - t_{\text{экспл}} \quad (1)$$

T_n – нормативный срок эксплуатации объекта (здания, сооружения), лет;

$t_{\text{эксп}}$ – календарный срок реальной эксплуатации объекта, лет.

Второе уравнение.

$$T_{\text{ост } 1} = T_n - U_\alpha * \sigma - t_{\text{экспл}} \quad (2)$$

где:

T_n – нормативный срок эксплуатации объекта (здания, сооружения), лет;

$t_{\text{эксп}}$ – календарный срок реальной эксплуатации объекта, лет;

σ – среднее квадратичное отклонение (СКО) срока службы конструктивного элемента от его среднего значения;

$$G_x \approx 0,18 * T_x \quad (3)$$

U_α – квантиль распределения Гаусса, соответствующий принятой доверительной вероятности для принятого технического состояния объекта.

Сравним эти два уравнения (см. рис. 1)

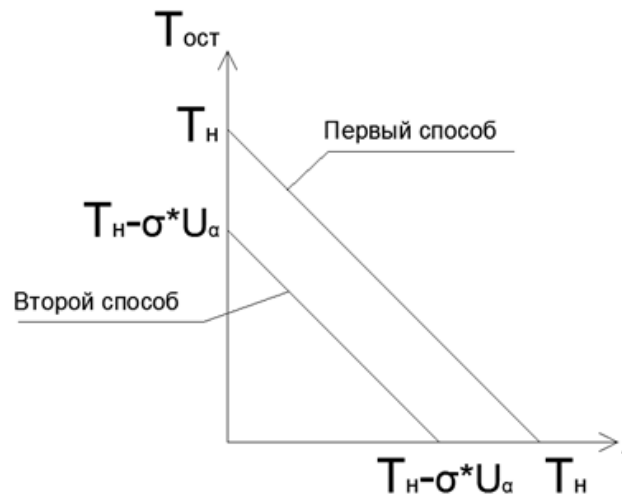


Рисунок 1. График зависимости остаточного ресурса от времени по первому и второму уравнениям (источник: разработано авторами)

Проанализировав данный график можно увидеть, что они (зависимости) имеют линейный характер, параллельны друг другу и отличаются на величину $U_\alpha \times \sigma$. Эту разницу можно рассматривать как некую понижающую постоянную величину для строительной конструкции. По сути, этой величиной учитывают все неблагоприятные факторы, которые воздействуют на данные конструкции (например, некачественный монтаж строительных конструкций, кратковременные воздействия природных, техногенных факторов и т. д.).

Анализ данных графиков показал, что каждое из указанных уравнений расчета остаточного ресурса имеет определенные недостатки на временной шкале.

Касательно первого уравнения это завышенная оценка остаточного ресурса в среднем и особенно на конечном временном участке срока эксплуатации. Поэтому данное уравнение предпочтительно применять на временном интервале:

$$t_{\text{эксп.}} \leq \frac{T_{\text{пред}}}{4} \tag{4}$$

Касательно второго уравнения это сильно заниженная оценка остаточного ресурса на начальном этапе эксплуатации и несколько заниженная на конечном участке. Поэтому данный способ предпочтительно применять на среднем временном интервале:

$$\frac{T_{\text{пред}}}{4} \leq t_{\text{эксп.}} \leq \frac{2}{3} * T_{\text{пред}} \tag{5}$$

Для устранения данных ограничений (недостатков) каждого из этих уравнений есть несколько путей.

Первый заключается в том, чтобы взять среднее значение из результатов, полученных при вычислении остаточного ресурса по двум уравнениям. Благодаря этому на начальном этапе эксплуатации занижение остаточного ресурса будет меньше, чем по второму уравнению, а на среднем и конечном этапе завышение будет ниже, чем по первому (см. рис. 2).

Выражение будет иметь вид:

$$T_{\text{ост}} = \frac{T_{\text{ост } 1} + T_{\text{ост } 2}}{2} \tag{6}$$

$T_{ост1}$ – остаточный ресурс, определенный по первому уравнению;

$T_{ост2}$ – остаточный ресурс, определенный по второму уравнению.

Подставляя в формулу 6 вместо $T_{ост1}$ и $T_{ост2}$ формулы 1 и 2 получаем:

$$T_{ост} = \frac{T_{ост1} + T_{ост2}}{2} = \frac{T_H - U_\alpha * \sigma - t_{экспл} + T_H - t_{экспл}}{2} = T_H - t_{экспл} - \frac{U_\alpha * \sigma}{2} \quad (7)$$

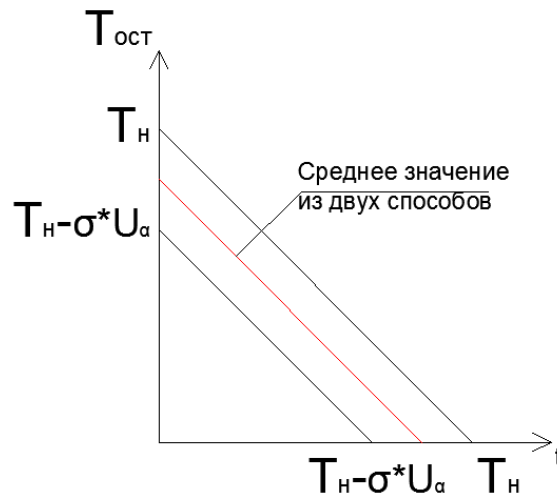


Рисунок 2. График зависимости остаточного ресурса от времени согласно уравнению 7 (источник: разработано авторами)

Второй путь заключается в выводе линейного уравнения вида:

$$T_{ост} = k * t_{экспл} + b \quad (8)$$

Суть метода заключается в нахождении коэффициентов k и b путем задания начальных параметров (на определенном интервале), т. е. необходимо задать две точки с известными координатами (регрессивный анализ).

Если сравнивать эти два подхода, то применение второго выглядит более перспективно, потому что сочетает в себе сразу два способа расчета остаточного ресурса (как частные случаи). Этот подход, сочетая в себе достоинства данных методов, при этом лишен их недостатков на всем протяжении временного интервала. Поэтому данный подход наибольшим образом подходит для расчета остаточного ресурса, чем другим представленные способы.

Для определения параметров уравнения k и b задаются две координаты (два числа характеризующие время эксплуатации) и соответствующий им остаточный ресурс в данный момент времени.

Затем рассчитываем параметры k и b по формулам:

$$k = \frac{y_1 - y_2}{x_1 - x_2} \quad (9)$$

$$b = y_2 - k * x_2 \quad (10)$$

Рассмотрим более подробно данный подход.

Введем предположение, что величина остаточного ресурса зданий и сооружений находится в области между прямыми 1 и 2 (см. рис. 3). Рассмотрим несколько граничных случаев и выведем для них уравнения согласно формуле 8.

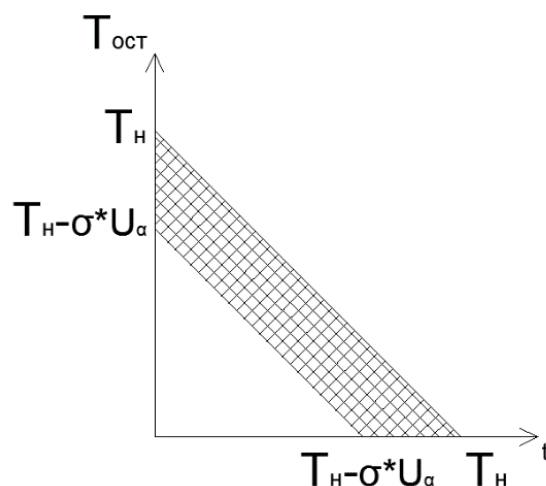


Рисунок 3. Рассматриваемая область, в которой лежит прямая зависимости остаточного ресурса от времени согласно уравнению 8 (источник: разработано авторами)

Учтем при этом, что среднее квадратичное отклонение срока службы конструктивного элемента от его среднего значения равно:

$$G_x \approx 0,18 * T_x \quad (3)$$

Будем условно считать, что это предельное отклонение.

Сначала рассмотрим промежуток от 0 до T_H .

Первый расчетный случай (см. рис. 4).

Принимаем, что $X_1 = 0$ и подставляем в уравнение 1.

Принимаем $Y_2 = 0$ и подставляем в уравнение 2.

Тогда исходные данные будут следующими:

$$\begin{aligned} x_1 &= 0 & y_1 &= T_H \\ x_2 &= T_H * (1 - U_\alpha * 0,18) & y_2 &= 0 \end{aligned}$$

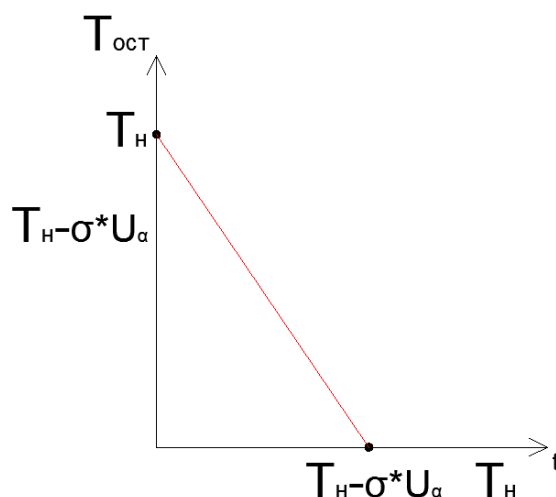


Рисунок 4. График зависимости остаточного ресурса от времени по первому расчетному случаю (источник: разработано авторами)

Тогда коэффициент k будет равен:

$$k = \frac{y_1 - y_2}{x_1 - x_2} = \frac{T_H - 0}{0 - T_H * (1 - U_\alpha * 0,18)} = -\frac{T_H}{T_H * (1 - U_\alpha * 0,18)} = -\frac{1}{(1 - U_\alpha * 0,18)} \quad (11)$$

Коэффициент b будет равен:

$$b = y_2 - k * x_2 = 0 - \left[-\frac{1}{(1 - U_\alpha * 0,18)} * T_H * (1 - U_\alpha * 0,18)\right] = T_H \quad (12)$$

Тогда общий вид уравнения для определения остаточного ресурса будет иметь вид:

$$T_{ост} = -\frac{1}{(1 - U_\alpha * 0,18)} * t_{экспл} + T_H \quad (13)$$

Второй расчетный случай (см. рис. 5).

Принимаем, что $X_1 = 0$ и подставляем в уравнение 7.

Принимаем $Y_2 = 0$ и подставляем в уравнение 2.

Тогда исходные данные будут следующими:

$$\begin{aligned} x_1 &= 0 & y_1 &= T_H * (1 - U_\alpha * 0,09) \\ x_2 &= T_H * (1 - U_\alpha * 0,18) & y_2 &= 0 \end{aligned}$$

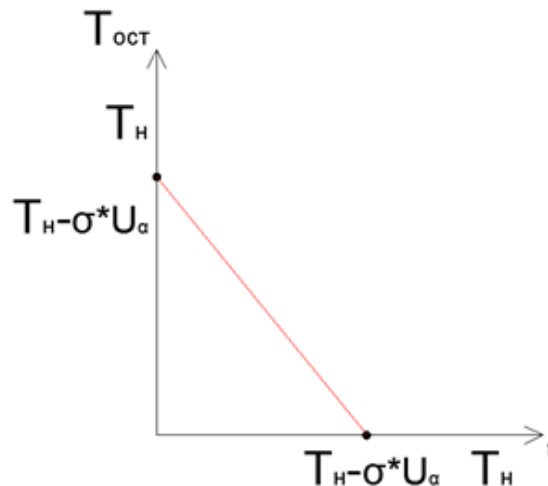


Рисунок 5. График зависимости остаточного ресурса от времени по второму расчетному случаю (источник: разработано авторами)

Тогда коэффициент k будет равен:

$$k = \frac{y_1 - y_2}{x_1 - x_2} = \frac{T_H * (1 - U_\alpha * 0,09) - 0}{0 - T_H * (1 - U_\alpha * 0,18)} = -\frac{T_H * (1 - U_\alpha * 0,09)}{T_H * (1 - U_\alpha * 0,18)} = -\frac{(1 - U_\alpha * 0,09)}{(1 - U_\alpha * 0,18)} \quad (14)$$

Коэффициент b будет равен:

$$b = y_2 - k * x_2 = 0 - \left[-\frac{(1 - U_\alpha * 0,09)}{(1 - U_\alpha * 0,18)} * T_H * (1 - U_\alpha * 0,18)\right] = T_H * (1 - U_\alpha * 0,09) \quad (15)$$

Тогда общий вид уравнения для определения остаточного ресурса будет иметь вид:

$$T_{\text{ост}} = -\frac{(1 - U_{\alpha} * 0,09)}{(1 - U_{\alpha} * 0,18)} * t_{\text{экспл}} + T_{\text{н}} * (1 - U_{\alpha} * 0,09) \quad (16)$$

Запишем полученное уравнение в следующем виде:

$$T_{\text{ост}} = (1 - U_{\alpha} * 0,09) * \left[-\frac{1}{(1 - U_{\alpha} * 0,18)} * t_{\text{экспл}} + T_{\text{н}} \right] \quad (17)$$

Если проанализировать эти два полученных уравнения, то можно увидеть, что они отличаются на величину $(1 - U_{\alpha} * 0,09)$.

Соответственно, если начальное значение остаточного ресурса при $X_1 = 0$ будет равно $T_{\text{н}} * A$, где A коэффициент, имеющий значения от $1 - U_{\alpha} * 0,18$ до 1, а конечное значение остаточного ресурса будет неизменно, то уравнение будет иметь вид (см. рис. 6):

$$T_{\text{ост}} = A * \left[-\frac{1}{(1 - U_{\alpha} * 0,18)} * t_{\text{экспл}} + T_{\text{н}} \right] \quad (18)$$

где A – коэффициент, имеющий значения от $1 - U_{\alpha} * 0,18$ до 1.

Докажем данное утверждение.

Исходные данные будут следующими:

$$\begin{aligned} x_1 &= 0 & y_1 &= T_{\text{н}} * A \\ x_2 &= T_{\text{н}} * (1 - U_{\alpha} * 0,18) & y_2 &= 0 \end{aligned}$$

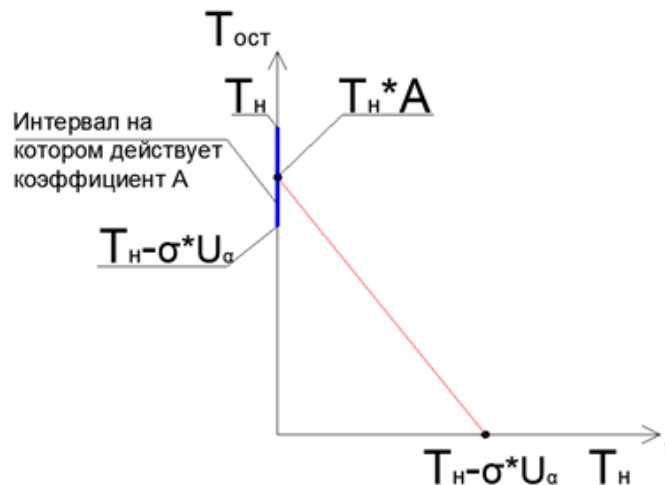


Рисунок 6. График зависимости остаточного ресурса от времени с коэффициентом A (источник: разработано авторами)

Тогда коэффициент k будет равен:

$$k = \frac{y_1 - y_2}{x_1 - x_2} = \frac{T_{\text{н}} * A - 0}{0 - T_{\text{н}} * (1 - U_{\alpha} * 0,18)} = -\frac{T_{\text{н}} * A}{T_{\text{н}} * (1 - U_{\alpha} * 0,18)} = -\frac{A}{(1 - U_{\alpha} * 0,18)} \quad (19)$$

Коэффициент b будет равен:

$$b = y_2 - k * x_2 = 0 - \left[-\frac{A}{(1 - U_{\alpha} * 0,18)} * T_{\text{н}} * (1 - U_{\alpha} * 0,18) \right] = A * T_{\text{н}} \quad (20)$$

Тогда общий вид уравнения для определения остаточного ресурса будет иметь вид:

$$T_{\text{ост}} = -\frac{A}{(1 - U_{\alpha} * 0,18)} * t_{\text{экспл}} + A * T_{\text{н}} = A * \left[-\frac{1}{(1 - U_{\alpha} * 0,18)} * t_{\text{экспл}} + T_{\text{н}} \right] \quad (21)$$

Третий расчетный случай (см. рис. 7).

Принимаем, что $X_1 = 0$ и подставляем в уравнение 1.

Принимаем $Y_2 = 0$ и подставляем в уравнение 7.

Тогда исходные данные будут следующими:

$$\begin{aligned} x_1 &= 0 & y_1 &= T_{\text{н}} \\ x_2 &= T_{\text{н}} * (1 - U_{\alpha} * 0,09) & y_2 &= 0 \end{aligned}$$

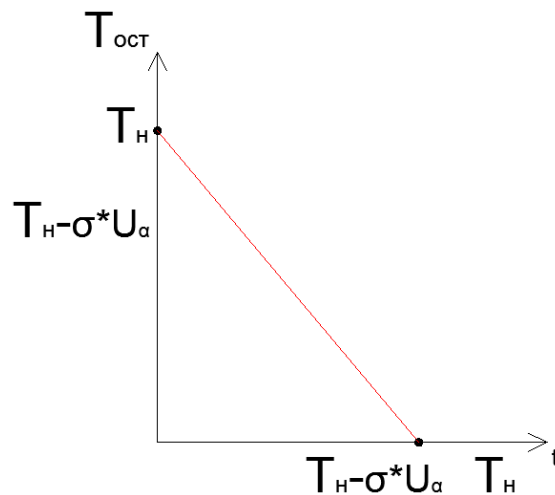


Рисунок 7. График зависимости остаточного ресурса от времени по третьему расчетному случаю (источник: разработано авторами)

Тогда коэффициент k будет равен:

$$k = \frac{y_1 - y_2}{x_1 - x_2} = \frac{T_{\text{н}} - 0}{0 - T_{\text{н}} * (1 - U_{\alpha} * 0,09)} = -\frac{T_{\text{н}}}{T_{\text{н}} * (1 - U_{\alpha} * 0,09)} = -\frac{1}{(1 - U_{\alpha} * 0,09)} \quad (22)$$

Коэффициент b будет равен:

$$b = y_2 - k * x_2 = 0 - \left[-\frac{1}{(1 - U_{\alpha} * 0,09)} * T_{\text{н}} * (1 - U_{\alpha} * 0,09) \right] = T_{\text{н}} \quad (23)$$

Тогда общий вид уравнения для определения остаточного ресурса будет иметь вид:

$$T_{\text{ост}} = -\frac{1}{(1 - U_{\alpha} * 0,09)} * t_{\text{экспл}} + T_{\text{н}} \quad (24)$$

Если проанализировать уравнения, полученные по первому и третьему расчетным случаям, то можно увидеть, что они отличаются на величину $(1 - U_{\alpha} * 0,09)$.

Соответственно, если конечное значение остаточного ресурса при $X_2 = T_{\text{н}} * B$, где B коэффициент, имеющий значения от $1 - U_{\alpha} * 0,18$ до 1, будет равно нулю, а начальное значение остаточного ресурса будет неизменно, то уравнение будет иметь вид (см. рис. 8):

$$T_{\text{ост}} = -\frac{1}{B} * t_{\text{экспл}} + T_{\text{н}} \quad (25)$$

Докажем данное утверждение.

Исходные данные будут следующими:

$$\begin{aligned} x_1 &= 0 & y_1 &= T_H \\ x_2 &= T_H * B & y_2 &= 0 \end{aligned}$$

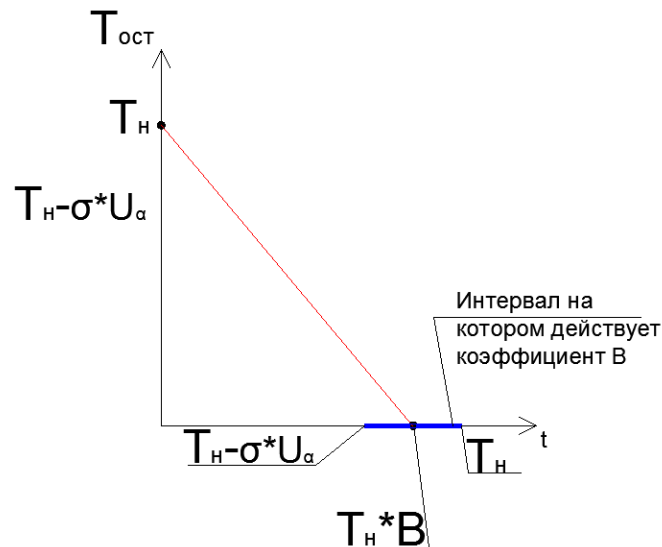


Рисунок 8. График зависимости остаточного ресурса от времени с коэффициентом B (источник: разработано авторами)

Тогда коэффициент k будет равен:

$$k = \frac{y_1 - y_2}{x_1 - x_2} = \frac{T_H - 0}{0 - T_H * B} = -\frac{T_H}{T_H * B} = -\frac{1}{B} \quad (26)$$

Коэффициент b будет равен:

$$b = y_2 - k * x_2 = 0 - \left[-\frac{1}{B} * T_H * B\right] = T_H \quad (27)$$

Тогда общий вид уравнения для определения остаточного ресурса будет иметь вид:

$$T_{ост} = -\frac{1}{B} * t_{экспл} + T_H \quad (25)$$

Теперь если ввести предположение, что начальные и конечные точки интервалов варьируются одновременно, то получим уравнение в общем виде (см. рис. 9):

$$T_{ост} = A * \left[-\frac{1}{B} * t_{экспл} + T_H\right] \quad (28)$$

где A и B – коэффициенты, имеющие значения от $1 - U_\alpha * 0,18$ до 1.

Докажем данное утверждение.

Исходные данные будут следующими:

$$\begin{aligned} x_1 &= 0 & y_1 &= T_H * A \\ x_2 &= T_H * B & y_2 &= 0 \end{aligned}$$

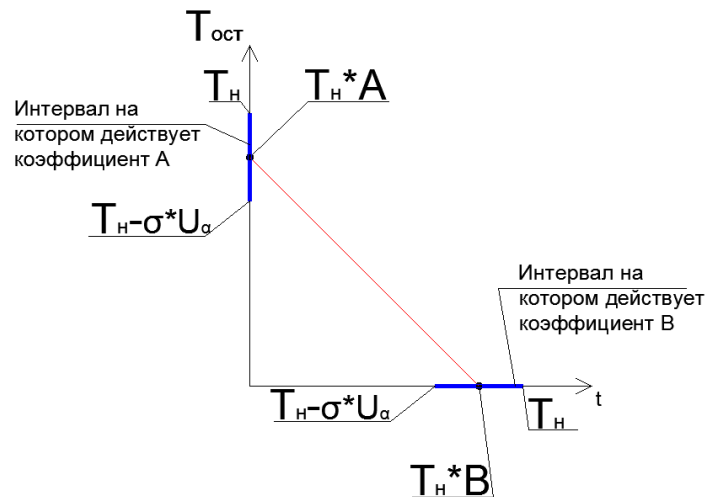


Рисунок 9. График зависимости остаточного ресурса от времени с коэффициентами A и B (источник: разработано авторами)

Тогда коэффициент k будет равен:

$$k = \frac{y_1 - y_2}{x_1 - x_2} = \frac{T_H * A - 0}{0 - T_H * B} = -\frac{T_H * A}{T_H * B} = -\frac{A}{B} \quad (29)$$

Коэффициент b будет равен:

$$b = y_2 - k * x_2 = 0 - \left[-\frac{A}{B} * T_H * B \right] = A * T_H \quad (30)$$

Тогда общий вид уравнения для определения остаточного ресурса будет иметь вид:

$$T_{ост} = -\frac{A}{B} * t_{экспл} + A * T_H = A * \left[-\frac{1}{B} * t_{экспл} + T_H \right] \quad (31)$$

Теперь рассмотрим промежуток от 0 до $T_H/2$.

Первый расчетный случай.

Принимаем, что $X_1 = 0$ и подставляем в уравнение 1.

Принимаем $Y_2 = 0$ и подставляем в уравнение 2.

Тогда исходные данные будут следующими:

$$\begin{aligned} x_1 &= 0 & y_1 &= \frac{T_H}{2} \\ x_2 &= \frac{T_H * (1 - U_\alpha * 0,18)}{2} & y_2 &= 0 \end{aligned}$$

Тогда коэффициент k будет равен:

$$k = \frac{y_1 - y_2}{x_1 - x_2} = \frac{\frac{T_H}{2} - 0}{0 - \frac{T_H * (1 - U_\alpha * 0,18)}{2}} = -\frac{T_H}{T_H * (1 - U_\alpha * 0,18)} = -\frac{1}{(1 - U_\alpha * 0,18)} \quad (32)$$

Коэффициент b будет равен:

$$b = y_2 - k * x_2 = 0 - \left[-\frac{1}{(1 - U_\alpha * 0,18)} * \frac{T_H * (1 - U_\alpha * 0,18)}{2} \right] = \frac{T_H}{2} \quad (33)$$

Тогда общий вид уравнения для определения остаточного ресурса будет иметь вид:

$$T_{\text{ост}} = -\frac{1}{(1 - U_{\alpha} * 0,18)} * t_{\text{экспл}} + \frac{T_{\text{н}}}{2} \quad (34)$$

Второй расчетный случай.

Принимаем, что $X_1 = 0$ и подставляем в уравнение 7.

Принимаем $Y_2 = 0$ и подставляем в уравнение 2.

Тогда исходные данные будут следующими:

$$\begin{aligned} x_1 &= 0 & y_1 &= T_{\text{н}} * \left(\frac{1}{2} - \frac{U_{\alpha} * 0,18}{4}\right) \\ x_2 &= \frac{T_{\text{н}} * (1 - U_{\alpha} * 0,18)}{2} & y_2 &= 0 \end{aligned}$$

Тогда коэффициент k будет равен:

$$\begin{aligned} k &= \frac{y_1 - y_2}{x_1 - x_2} = \frac{T_{\text{н}} * \left(\frac{1}{2} - \frac{U_{\alpha} * 0,18}{4}\right) - 0}{0 - \frac{T_{\text{н}} * (1 - U_{\alpha} * 0,18)}{2}} = -\frac{T_{\text{н}} * (2 - U_{\alpha} * 0,18)}{T_{\text{н}} * 2 * (1 - U_{\alpha} * 0,18)} = \\ &= -\frac{(2 - U_{\alpha} * 0,18)}{2 * (1 - U_{\alpha} * 0,18)} = -\frac{(1 - U_{\alpha} * 0,09)}{(1 - U_{\alpha} * 0,18)} \end{aligned} \quad (35)$$

Коэффициент b будет равен:

$$b = y_2 - k * x_2 = 0 - \left[-\frac{(1 - U_{\alpha} * 0,09)}{(1 - U_{\alpha} * 0,18)} * \frac{T_{\text{н}} * (1 - U_{\alpha} * 0,18)}{2} \right] = \frac{T_{\text{н}}}{2} * (1 - U_{\alpha} * 0,09) \quad (36)$$

Тогда общий вид уравнения для определения остаточного ресурса будет иметь вид:

$$T_{\text{ост}} = -\frac{(1 - U_{\alpha} * 0,09)}{(1 - U_{\alpha} * 0,18)} * t_{\text{экспл}} + \frac{T_{\text{н}}}{2} * (1 - U_{\alpha} * 0,09) \quad (37)$$

Третий расчетный случай.

Принимаем, что $X_1 = 0$ и подставляем в уравнение 1.

Принимаем $Y_2 = 0$ и подставляем в уравнение 7.

Тогда исходные данные будут следующими:

$$\begin{aligned} x_1 &= 0 & y_1 &= \frac{T_{\text{н}}}{2} \\ x_2 &= T_{\text{н}} * \left(\frac{1}{2} - \frac{U_{\alpha} * 0,18}{4}\right) & y_2 &= 0 \end{aligned}$$

Тогда коэффициент k будет равен:

$$k = \frac{y_1 - y_2}{x_1 - x_2} = \frac{\frac{T_{\text{н}}}{2} - 0}{0 - T_{\text{н}} * \left(\frac{1}{2} - \frac{U_{\alpha} * 0,18}{4}\right)} = -\frac{2}{2 - U_{\alpha} * 0,18} = -\frac{1}{(1 - U_{\alpha} * 0,09)} \quad (38)$$

Коэффициент b будет равен:

$$b = y_2 - k * x_2 = 0 - \left[-\frac{1}{(1 - U_\alpha * 0,09)} * T_H * \left(\frac{1}{2} - \frac{U_\alpha * 0,18}{4} \right) \right] = \frac{1}{(1 - U_\alpha * 0,09)} * T_H * \left(\frac{2 - U_\alpha * 0,18}{4} \right) = \frac{T_H}{2} \quad (39)$$

Тогда общий вид уравнения для определения остаточного ресурса будет иметь вид:

$$T_{\text{ост}} = -\frac{1}{(1 - U_\alpha * 0,09)} * t_{\text{экспл}} + \frac{T_H}{2} \quad (40)$$

Если сравнить уравнения, полученные для промежутка 0 до $T_H/2$, с уравнениями полученные для промежутка 0 до T_H , то можно заметить, что они отличаются только величиной коэффициента b , т. е. величиной T_H .

Исходя из этого общий вид уравнения для определения остаточного ресурса будет иметь вид (см. рис. 10):

$$T_{\text{ост}} = A * \left[-\frac{1}{B} * t_{\text{экспл}} + C * T_H \right] \quad (41)$$

Докажем данное утверждение.

Исходные данные будут следующими:

$$\begin{aligned} x_1 &= 0 & y_1 &= C * T_H * A \\ x_2 &= C * T_H * B & y_2 &= 0 \end{aligned}$$

Тогда коэффициент k будет равен:

$$k = \frac{y_1 - y_2}{x_1 - x_2} = \frac{T_H * A * C - 0}{0 - T_H * B * C} = -\frac{T_H * A * C}{T_H * B * C} = -\frac{A}{B} \quad (42)$$

Коэффициент b будет равен:

$$b = y_2 - k * x_2 = 0 - \left[-\frac{A}{B} * C * T_H * B \right] = C * A * T_H \quad (43)$$

Тогда общий вид уравнения для определения остаточного ресурса будет иметь вид:

$$T_{\text{ост}} = -\frac{A}{B} * t_{\text{экспл}} + A * C * T_H = A * \left[-\frac{1}{B} * t_{\text{экспл}} + C * T_H \right] \quad (44)$$

Несмотря на то, что при выводе общего уравнения рассматривалась ограниченная область (см. рис. 3), данное уравнение можно применить для всего временного интервала. Это возможно благодаря тому, что оно было доказано в общем случае.

Теперь определим физический смысл коэффициентов A , B и C .

Физический смысл коэффициента A заключается в том, что он снижает изначальный (заданный) остаточный ресурс строительных конструкций вследствие несовершенства технологии изготовления, устройства, монтажа, ошибок при проектировании и т. д.

Физический смысл коэффициента B заключается в том, что он снижает остаточный ресурс строительных конструкций в процессе их эксплуатации.

Поэтому коэффициенты A и B можно считать коэффициентами запаса (понижающими коэффициентами).

В общем случае они будут принимать значения от 0 до 1.

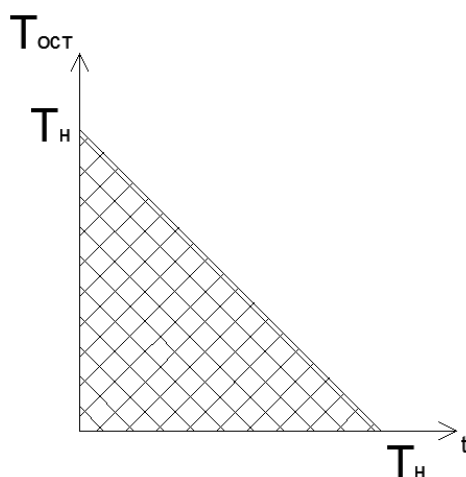


Рисунок 10. Рассматриваемая область, в которой лежит прямая зависимости остаточного ресурса от времени согласно выведенному общему уравнению (источник: разработано авторами)

Физический смысл коэффициента C заключается в том, что он изменяет (снижает или повышает) предельный установленный остаточный ресурс (соответственно как начальный, так конечный). Это может быть вызвано как особенностью применяемой технологии изготовления, монтажа, устройства, опытом применения подобных конструкций, проектом и т. д. Важно то, что применение этого коэффициента должно иметь соответствующее обоснование. Причем должно быть заверено соответствующим образом. В случае, если такого обоснования нет, то $C = 1$.

Пример такого обоснования есть в атомной сфере [4]. В этом документе, в частности, сказано «2.1 При достижении ОИАЭ назначенного (или 30-летнего) срока эксплуатации...» [4], т. е. если отсутствует проектная документация, то предельный срок равен 30 годам.

ОИАЭ – объект использования атомной энергии. Согласно [4] может являться, применительно к объектам капитального строительства, пунктом хранения ядерных материалов и радиоактивных веществ и хранилищем радиоактивных отходов.

В заключении хочется отметить, что выведенное и доказанное уравнение (41) можно применять специалистам и эксплуатирующим организациям, которые занимаются эксплуатацией объекта капитального строительства, поскольку позволяет очень легко оценить величину остаточного ресурса и соответственно определить дату проведения ремонтно-восстановительных работ.

Это можно сделать даже тогда, когда возраст конструкций превысил предельно допустимый. Это связано с тем, что сами конструкции имеют «фактический» срок эксплуатации. Один «фактический» год эксплуатации не равен в общем случае одному календарному (хронологическому) году. Поэтому, когда требуется оценить остаточный ресурс строительных конструкций, которые превысили свой срок эксплуатации необходимо подставлять «фактический», а не календарный возраст строительных элементов. Для того чтобы определить «фактический» возраст конструкций необходимо определить их физический износ. Это можно сделать, применяя разные подходы [5; 6; 7; 8; 9; 10; 11]. Затем используя зависимость «фактического» возраста от физического износа для определенной величины предельного возраста конструкции [11], находят сам «фактический» возраст.

За предельный возраст в данном случае принимается время между проведениями капитальных ремонтных работ [1].

ЛИТЕРАТУРА

1. МДС 13-14.2000 Положение о проведении планово-предупредительного ремонта производственных зданий и сооружений, М.: 2000. – 74 с.
2. ГОСТ 27771-2014 Надежность строительных конструкций и оснований. Основные положения. М.: 2015. – 16 с.
3. Приказ Министерства жилищно-коммунального хозяйства РСФСР от 4 августа 1981 г. № 420 «Об утверждении и введении в действие «Правил технической эксплуатации гостиниц и их оборудования», – 137 с.
4. НП 024-2000 Федеральные нормы и правила в области использования атомной энергии. Требования к обоснованию возможности продления назначенного срока эксплуатации объектов использования атомной энергии. В редакции приказа Ростехнадзора № 363 от 11 сентября 2017, – 16 с.
5. Горшков А.С. Модель физического износа строительных конструкций. Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. 2014. № 12 (191). С. 34–37.
6. 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.
7. Белых А.В. Методика определения величины физического износа нежилых зданий для целей массовой оценки. Журнал правовых и экономических исследований. 2013. № 2. С. 78–86.
8. 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).
9. Шмелев Г.Д. Экспертный метод прогнозирования остаточного срока службы строительных конструкций по их физическому износу. Строительство и реконструкция. 2014. № 3 (53). С. 31–39.
10. 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.
11. 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.

Korolkov Dmitry Igorevich

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

Korolkov Denis Dmitrievich

ООО «REScenter», Saint Petersburg, Russia
E-mail: Korolkov.deniss@yandex.ru

Identification of patterns and description of the dependence of the value of the residual resource from the chronological (actual) age of building structures

Abstract. In this article, the authors conducted a study of the dependence of the residual resource on the age of building structures. During the study, the assumption was made about the linear nature of this relationship. To identify the dependencies used regression analysis and induction method. Initially, the authors proceeded from the assumption that the residual resource is in a certain time interval, limited by the age limit of the building structures themselves and by a certain minimum value specified by the standard deviation from the service life limit.

Then the authors considered a number of special cases, setting the coordinates of the time of operation and the residual resource corresponding to it. For the prostate calculation, the boundary points of the abscissa and ordinate axes were taken. Then, using conventional regression analysis formulas to find a linear function for given coordinates, linear equations were obtained for each computational case. After which the authors analyzed the resulting equations and generalized the results by introducing the corresponding coefficients. Then these generalizing equations were proved in the general case.

The authors determined the physical meaning of the coefficients introduced. The ranges of their possible values are indicated. Also described is the peculiarity of using this equation when using the “actual”, rather than the calendar (chronological) age of building structures. This feature arises when building structures are overwhelmed by the time limit for their operation, when, based on the survey results, the possibility of their further operation is established. Also an explanation is given on finding the “actual” service life (age of structures).

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