

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

2025, Том 17, № 6 / 2025, Vol. 17, Iss. 6 <https://esj.today/issue-6-2025.html>

URL статьи: <https://esj.today/PDF/67SAVN625.pdf>

2.1.1. Строительные конструкции, здания и сооружения (технические науки)

Ссылка для цитирования этой статьи:

Корольков, Д. И. Оценка срока службы соединений деревянных колонн с фундаментом / Д. И. Корольков, Л. Н. Кондратьева, С. Н. Савин, А. Е. Кубасевич // Вестник евразийской науки. — 2025. — Т. 17. — № 6. —

URL: <https://esj.today/PDF/67SAVN625.pdf>.

For citation:

Korolkov D.I., Kondratieva L.N., Savin S.N., Kubasevich A.E. Service life assessment of timber column-to-foundation connections. *The Eurasian Scientific Journal*. 2025;17(6): 67SAVN625. Available at: <https://esj.today/PDF/67SAVN625.pdf>. (In Russ., abstract in Eng.).

УДК 69.059.4

Корольков Дмитрий Игоревич

ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет»,
Санкт-Петербург, Россия

Доцент

Кандидат технических наук

E-mail: korol9520@yandex.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8063-1878>

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

Кондратьева Лидия Никитовна

ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет»,
Санкт-Петербург, Россия

Профессор

Доктор технических наук, профессор

E-mail: condratjevaln@yandex.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6174-5565>

РИНЦ: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=349260

Савин Сергей Николаевич

ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет»,
Санкт-Петербург, Россия

Старший научный сотрудник, профессор

Доктор технических наук

E-mail: savinsn@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9369-8214>

РИНЦ: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=426347

SCOPUS: <https://www.scopus.com/authid/detail.url?authorId=56868321400>

Кубасевич Антон Евгеньевич

ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет»,
Санкт-Петербург, Россия

Доцент

Кандидат технических наук

E-mail: anton_kubasevich@mail.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5186-8518>

РИНЦ: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=1060856

WoS: <https://www.webofscience.com/wos/author/rid/OEM-9927-2025>

Оценка срока службы соединений деревянных колонн с фундаментом

Аннотация. При оценке сроков службы и остаточного ресурса элементов зданий и сооружений обычно оценивают только строительные конструкции. При этом забывают про такие важные компоненты любого объекта капитального строительства как соединения. А между тем, данные элементы могут играть роль, которая по своей важности не только не уступает самым строительным конструкциям, но и порой может их даже превосходить в обеспечении несущей способности в жизни зданий и сооружений.

Поэтому вопрос оценки их сроков службы и остаточного ресурса имеет огромную значимость в плане обеспечения надежности, долговечности и безопасности объектов строительства в целом.

В связи с этим авторами в данной статье для решения данной проблемы было предложено использовать метод оценки сроков службы и остаточного ресурса на этапе эксплуатации с использованием скорости изменения параметра несущей способности во времени.

Суть метода заключается в том, что на этапе эксплуатации в процессе обследования фиксируется фактическое состояние строительных конструкций, а также их соединений. По результатам расчетов или на основе данных проектной документации устанавливается минимальное требуемое значение параметра несущей способности. На основе данных за период эксплуатации объекта капитального строительства определяется скорость изменения выбранного параметра во времени.

В данной работе авторами рассмотрены основные соединения деревянных колонн с фундаментом. На основе анализа данных соединений определены основные компоненты этих соединений, для которых необходимо в общем случае выполнять расчет сроков службы.

В статье авторами для каждого выделенного компонента при проверках по различным напряженным состояниям выведены расчетные зависимости для оценки минимального значения параметра.

Также авторами предложены математические выражения для оценки скорости изменения данных параметров во времени.

В статье представлены материалы диссертационного исследования.

Ключевые слова: срок службы; остаточный ресурс; скорость коррозии; соединения колонн с фундаментом на регулируемых и нерегулируемых опорах; Т-образная опора; крестовидная опора; соединения с накладками на болтах; соединения колонн при помощи стальных тяжей

Оценивая сроки службы и остаточный ресурс зданий и сооружений в целом важно определить их не только для каждой конструкции в отдельности, но и узлов этих конструкций. Одним из таких узлов, требующих оценки, является соединение деревянных колонн (стоек) с фундаментом. Существует несколько основных типов решений подобных соединений:

1. На регулируемых и нерегулируемых опорах (рис. 1 а и 1 б).
2. Нерегулируемые опоры, воспринимающие момент в одной плоскости (Т-образная опора) и нерегулируемые опоры, воспринимающие момент в двух плоскостях (крестовидная опора) (рис. 2 а и 2 б).
3. На накладках с болтовым соединением (рис. 3).
4. При помощи стальных тяжей (рис. 4).

В рамках данной работы соединения деревянных колонн при помощи вклеенных стержней рассматриваться не будут, т. к. такой вид соединения колонн с фундаментом практически не применяется для объектов деревянного домостроения.

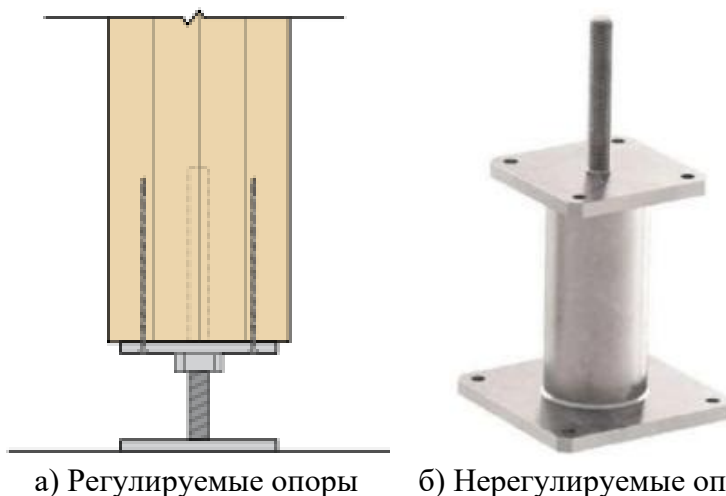


Рисунок 1. Узел крепления деревянной колонны к фундаменту на металлических коннекторах¹

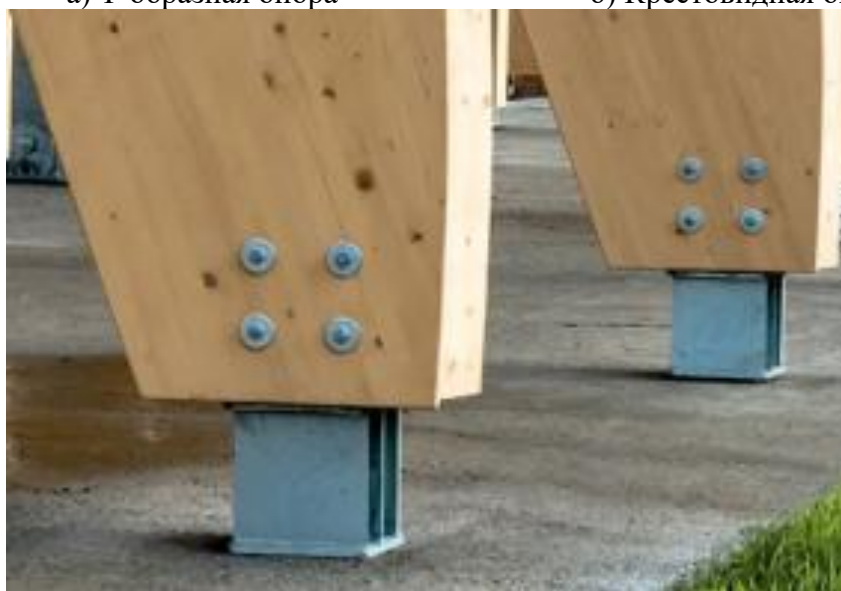
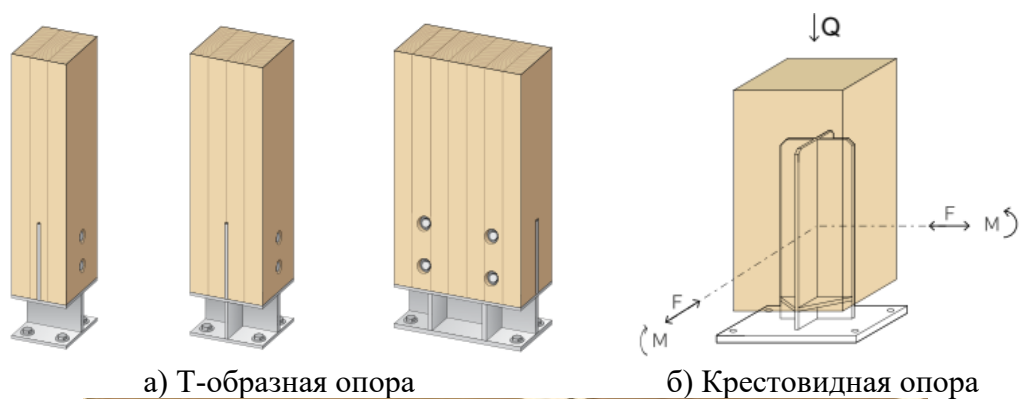
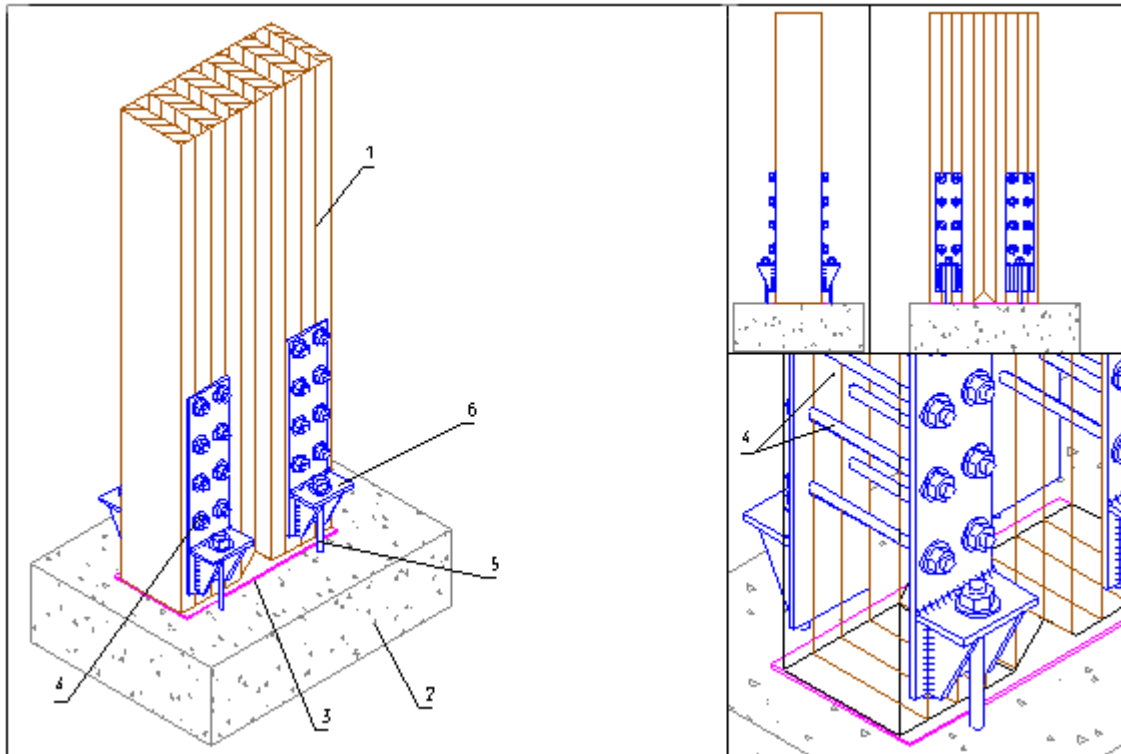


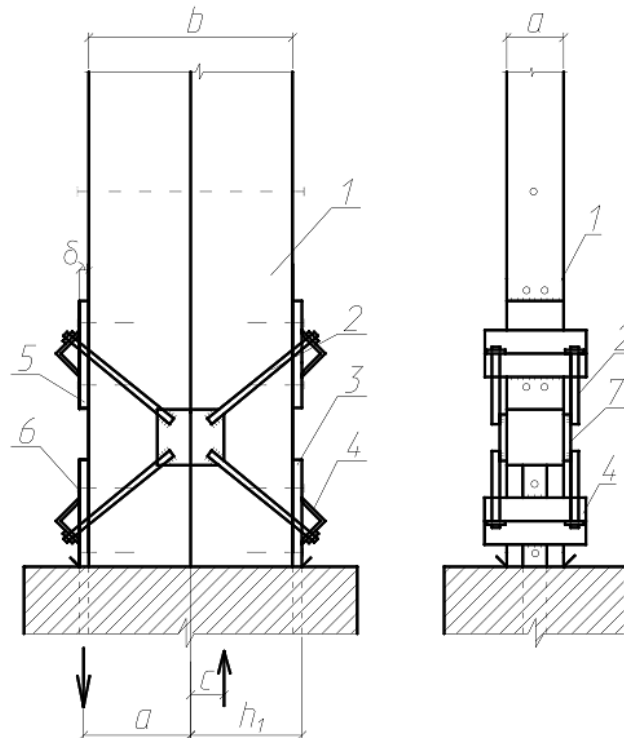
Рисунок 2. Примеры конструктивного исполнения Т-образной и крестовидной опор из оцинкованной углеродистой стали и фото реального узла¹

¹ Пособие по проектированию и применению конструкций из клееной древесины. Технониколь. URL: WWW.TN.RU.



1 — нижняя часть клеодоцтой стойки; 2 — фундамент; 3 — гидроизоляционный слой; 4 — стяжные болты; 5 — анкерные болты; 6 — упорный столик анкерного болта

Рисунок 3. Узел опирания деревянной стойки на фундамент с болтовым соединением на накладках [1; 2]



1 — стойка; 2 — тяжи; 3 — стальные полосы-анкеры; 4 — равнобокие уголки; 5 — металлическая пластина; 6 — гвозди; 7 — пластина

Рисунок 4. Узел защемления деревянных колонн без опорной деревянной накладки при помощи тяжей [1; 2]

При расчете узлов строительных конструкций применяют три основных подхода: аналитические «ручные» методы, классический метод конечных элементов [3] и компонентный метод конечных элементов [4]. Аналитические методы используются для узлов, в которых пути передачи нагрузок могут быть описаны упрощенными моделями, и известно перераспределение усилий. Метод конечных элементов позволяет моделировать детализированное напряженно-деформированное состояние узла, компонентный метод конечных элементов описывает его через систему компонентов с эквивалентными характеристиками (например, сварные швы, болты, нагели). В рамках исследования авторы не рассматривали вопросы, связанные непосредственно с определением усилий в соединениях. Предметом исследования являлся подход к расчету сроков службы.

Срок службы таких соединений можно определить по формуле:

$$T = \frac{P_{\text{фак}} - P_{\text{min}}}{v} \quad (1)$$

где:

$P_{\text{фак}}$ — фактическое значение параметра, определенное по результатам обследования;

P_{min} — минимальное значение параметра, определенное расчетным путем при определении несущей способности;

v — скорость изменения параметра.

Под расчетным параметром следует понимать такую величину, которая позволяет оценить несущую способность узла в целом. Использование такой укрупненной характеристики позволяет избавиться от проблемы учета совместного влияния изменения двух геометрических величин, поскольку их вклад уже учтен при оценке несущей способности или разных величин, применяемых в рамках одной оценки. В каждом конкретном случае параметр для расчета будет свой.

Данное уравнение (1) нашло широкое применение при оценке срока службы различных строительных конструкций [5; 6].

Несмотря на все разнообразие применяемых технических решений, в общем случае можно выделить несколько компонент, которые требуют отдельной проверки:

1. Болты.
2. Цельный элемент соединения, т. е. сам металл.
3. Анкеры.
4. Сварные швы элементов соединения.
5. Гвозди (винты).
6. Древесина в местах контакта с соединительными элементами.

Выбор тех или иных компонент зависит от типа применяемых конструктивных решений.

В каждом из рассмотренных случаев будет свой минимальный параметр, с которым сравнивается фактически определенное значение параметра в процессе обследования и соответственно оценивается скорость его изменения во времени.

Далее будет рассмотрен вывод уравнений для всех выделенных в данной статье компонент соединения. Сначала будут выведены уравнения для оценки либо минимального параметра, либо уравнения для оценки срока службы в целом, если изначально нельзя по

условиях задачи это сделать поскольку участвуют несколько меняющихся величин. Оценка скорости изменения выбранных параметров во времени будет представлена в конце статьи.

1. Оценка срока службы болтов

Определяющим параметром в данном случае будет диаметр нагеля (болта). Для того чтобы вывести уравнения сроков службы из формулы (1) необходимо определить расчетные зависимости минимального диаметра нагеля.

Минимальный диаметр нагеля будет определяться на основе требований раздела 14.2 СП 16.13330.2017.² При этом сделаем небольшое уточнение. Поскольку площадь сечения связана с диаметром, то в дальнейших расчетах будем использовать именно его.

Минимальный диаметр равен:

- при срезе:

$$\frac{\pi \cdot d_{\min(1)}^2}{4} = \frac{N_{bs}}{R_{bs} \cdot n_s \cdot \gamma_b \cdot \gamma_c} \quad (2)$$

$$d_{\min(1)} = \sqrt{\frac{4 \cdot N_{bs}}{\pi \cdot R_{bs} \cdot n_s \cdot \gamma_b \cdot \gamma_c}} \quad (3)$$

- при смятии:

$$d_{\min(2)} = \frac{N_{bp}}{R_{bp} \cdot \sum t \cdot \gamma_b \cdot \gamma_c} \quad (4)$$

- при растяжении:

$$d_{\min(3)} = \sqrt{\frac{4 \cdot N_{bt}}{\pi \cdot R_{bt} \cdot \gamma_c}} \quad (5)$$

где:

R_{bs}, R_{bp}, R_{bt} — расчетные сопротивления одноболтовых соединений²;

N_{bs}, N_{bp}, N_{bt} — расчетные усилия одноболтовых соединений, определенные при проектировании²;

n_s — число расчетных срезов одного болта;

$\sum t$ — наименьшая суммарная толщина соединяемых элементов, сминаемых в одном направлении;

γ_b — коэффициент условий работы, определяемый по таблице 1 СП 16.13330.2017²;

γ_c — коэффициент условий работы болтового соединения, определяемый по таблице 41 СП 16.13330.2017 и принимаемый не более 1,0².

² СП 16.13330.2017 «СНиП II-23-81* Стальные конструкции» (Приказ Минстроя России от 27 февраля 2017 г. № 126/пр).

В дальнейшем при оценке сроков службы выполняется только один расчет с использованием наибольшего из полученных минимальных диаметров, поскольку фактический диаметр во всех случаях одинаков.

Все рассмотренные выводы уравнений касаются сроков службы проводились исходя из предположения, что основной меняющейся величиной является только диаметр элемента. Теперь рассмотрим случай, когда требуется оценить срок службы болтов при одновременном действии среза и растяжения. В этом случае формула имеет вид:

$$\sqrt{\left(\frac{N_s}{R_{bs} \cdot n_s \cdot \gamma_b \cdot \gamma_c \cdot \frac{\pi \cdot d_{\min(1)}^2}{4}}\right)^2 + \left(\frac{N_t}{R_{bt} \cdot \gamma_c \cdot \frac{\pi \cdot d_{\min(3)}^2}{4}}\right)^2} \leq 1 \quad (6)$$

где:

N_s и N_t — усилия, действующие на болт, срезающее и растягивающее соответственно¹.

Данное уравнение не имеет аналитического решения в общем виде, которое позволило бы отдельно выразить каждый из приведенных минимальных диаметров. Поэтому, чтобы оценить срок службы в этом случае мы примем следующее утверждение: изменяющимся параметром во времени будет вся левая часть уравнения (6), где диаметром будет значение, установленное проектировщиком, а «минимальным» параметром будет единица. В этом случае уравнение (1) примет вид:

$$T = \frac{1 - \sqrt{\left(\frac{N_s}{R_{bs} \cdot n_s \cdot \gamma_b \cdot \gamma_c \cdot \frac{\pi \cdot d_{\text{фак}}^2}{4}}\right)^2 + \left(\frac{N_t}{R_{bt} \cdot \gamma_c \cdot \frac{\pi \cdot d_{\text{фак}}^2}{4}}\right)^2}}{\nu} \quad (7)$$

Несмотря на то, что единица в данном случае выступает в роли «максимальной», а не «минимальной» величины параметра, тем не менее никаких противоречий тут нет. Просто в данном случае исходя из логики уравнения (6) она является тем значением, с которым сравнивают выражение под корнем. Соответственно она является тем самым «минимальным параметром», просто дававшим нам величину остаточного ресурса со знаком минус. Чтобы этого избежать и была выполнена такая перестановка в уравнении (7).

Под скоростью же изменения параметра будет подразумеваться изменение всего выражения под корнем во времени, которое было вычислено в процессе выполнения обследования либо полученное путем построения регрессии, если имелись сведения об протекания процесса деградации элемента.

2. Оценка срока службы основного металла соединений

Определяющими параметрами в данном случае будут является геометрические размеры сечения (толщина и высота).

Сначала будет рассмотрен вывод уравнений для случая, когда в качестве переменной величины во времени рассматривается толщина элемента. Будем считать, что изменение второго геометрического параметра элемента, а именно высоты сечения, по влиянию на несущую способность ничтожно мало по сравнению с изменением толщины стенки.

Уравнения будут выводиться из следующих условий:

- на изгиб:

$$\sigma = \frac{M_{\max}}{W_{mp}} \leq \frac{R_y \cdot \gamma_c}{\gamma_n} \quad (8)$$

- на срез:

$$\tau = \frac{Q_{mp}}{t_{mp} \cdot h_{mp}} \leq \frac{R_s \cdot \gamma_c}{\gamma_n} \quad (9)$$

- на совместное действие изгиба и среза:

$$\sigma = \sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2} \leq \frac{R_s \cdot \gamma_c}{\gamma_n} \quad (10)$$

где:

M_{\max} — больший из изгибающих моментов на опоре и в пролете элемента;

Q_{mp} — поперечная сила в элементе;

Момент сопротивления для прямоугольного сечения:

$$W_{mp} = \frac{t_{mp} \cdot h_{mp}^2}{6} \quad (11)$$

где:

t_{mp} , h_{mp} — толщина и высота элемента. В данном случае $t_{mp} = t_{min}$.

γ_c — коэффициент условий работы, принимаемый по таблице 1 СП 16.13330.2017;²

γ_n — коэффициент надежности по ответственности, принимаемый согласно требованиям ГОСТ 27751;³

R_y и R_s — расчетные сопротивления стали изгибу и срезу по пределу текучести.¹

В данном случае $t_{min} = t_{mp}$.

Для изгиба минимальная толщина стенки будет определяться:

$$\frac{6 \cdot M_{\max}}{t_{mp} \cdot h_{mp}^2} = \frac{R_y \cdot \gamma_c}{\gamma_n} \quad (12)$$

$$t_{mp} = \frac{6 \cdot M_{\max} \cdot \gamma_n}{R_y \cdot \gamma_c \cdot h_{mp}^2} \quad (13)$$

Для случая со срезом:

$$\frac{Q_{mp}}{t_{mp} \cdot h_{mp}} = \frac{R_s \cdot \gamma_c}{\gamma_n} \quad (14)$$

³ ГОСТ 27751-2014 Надежность строительных конструкций и оснований. Основные положения.

$$t_{mp} = \frac{Q_{mp} \cdot \gamma_n}{R_s \cdot \gamma_c \cdot h_{mp}} \quad (15)$$

При совместном действии изгиба и среза:

$$\sqrt{\left(\frac{6 \cdot M_{\max}}{t_{mp} \cdot h_{mp}^2}\right)^2 + 3 \left(\frac{Q_{mp}}{t_{mp} \cdot h_{mp}}\right)^2} = \frac{R_s \cdot \gamma_c}{\gamma_n} \quad (16)$$

Возведем обе части в квадрат.

$$\left(\frac{6 \cdot M_{\max}}{t_{mp} \cdot h_{mp}^2}\right)^2 + 3 \left(\frac{Q_{mp}}{t_{mp} \cdot h_{mp}}\right)^2 = \left(\frac{R_s \cdot \gamma_c}{\gamma_n}\right)^2 \quad (17)$$

Раскроем скобки и возведем каждую величину в квадрат.

$$\frac{36 \cdot M_{\max}^2}{t_{mp}^2 \cdot h_{mp}^4} + \frac{3 \cdot Q_{mp}^2}{t_{mp}^2 \cdot h_{mp}^2} = \frac{R_s^2 \cdot \gamma_c^2}{\gamma_n^2} \quad (18)$$

Выразим из уравнения (12) толщину базы колонны.

$$\frac{\left(\frac{36 \cdot M_{\max}^2}{h_{mp}^4} + \frac{3 \cdot Q_{mp}^2}{h_{mp}^2}\right) \gamma_n^2}{R_s^2 \cdot \gamma_c^2} = t_{mp}^2 \quad (19)$$

Обе части уравнения возведем в степень $\frac{1}{2}$.

$$t_{mp} = \sqrt{\frac{\left(\frac{36 \cdot M_{\max}^2}{h_{mp}^4} + \frac{3 \cdot Q_{mp}^2}{h_{mp}^2}\right) \gamma_n^2}{R_s^2 \cdot \gamma_c^2}} \quad (20)$$

Упростим выражение.

$$t_{mp} = \sqrt{\left(\frac{36 \cdot M_{\max}^2}{h_{mp}^2} + 3 \cdot Q_{mp}^2\right)} \cdot \frac{\gamma_n}{R_s \cdot \gamma_c \cdot h_{mp}} \quad (21)$$

Полученные выше формулы как говорилось ранее справедливы, если принимается условие, что влияние изменение высоты сечение мало по сравнению с толщиной стенки элемента.

Однако в большинстве случаев необходимо учитывать изменение сечения в целом и как следствие влияние этого изменения на несущую способность соединения.

В этом случае формула (1) для оценки сроков службы будут иметь вид:

- на изгиб:

$$T = \frac{\frac{R_y \cdot \gamma_c}{\gamma_n} - \frac{M_{\max}}{W_{фак}}}{v_1} \quad (22)$$

- на срез:

$$T = \frac{R_s \cdot \gamma_c - \frac{Q}{t_{фак} \cdot h_{фак}}}{\gamma_n \cdot v_2} \quad (23)$$

- на совместное действие изгиба и среза:

$$T = \frac{R_s \cdot \gamma_c - \sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2}}{\gamma_n \cdot v_3} \quad (24)$$

Разное обозначение скоростей изменения параметра в формулах (22–24) подразумевает, что несмотря на то что изменение площади сечения элемента в каждом случае одинаково, в конечном итоге мы имеем разную оценку изменения несущей способности элемента и соответственно разную скорость ее изменения во времени.

3. Оценка срока службы анкеров

Для данных элементов как для болтовых соединений основным расчетным параметром будет являться диаметр анкера. Рассмотрим только случай при статической нагрузке. Динамическое воздействие от работающего оборудования в данной статье анализу подвергаться не будет.

Минимальный диаметр будет равен

$$\frac{\pi \cdot d_{\min}^2}{4} = k_0 \frac{N}{R_{bt}} \quad (25)$$

где:

k_0 — коэффициент, определяемый в соответствии с требованиями нормативных документов;

N — расчетная нагрузка, действующая на болт.³

$$d_{\min} = \sqrt{\frac{4 \cdot k_0 \cdot N}{\pi \cdot R_{bt}}} \quad (26)$$

Расчетные сопротивления анкерных болтов принимаются согласно СП 16.13330.2017¹.

4. Оценка срока службы сварных соединений

Определяющими параметрами в данном случае будут являться размеры шва (катет и его длина). При определении данных характеристик шва руководствуются не только расчетными положениями, но и требованиями изложенных в разделе 14.1 СП 16.13330.2017.²

Для целей же расчета срока службы будем руководствоваться именно расчетными значениями катета и длины шва как минимальных критериев, при достижении которых несущая способность эксплуатируемых конструкций будет исчерпана. Рассмотрим различные варианты определения срока службы.

При определении срока службы сварного шва на действие осевой силы N , проходящей через центр тяжести соединения минимальным критерием будет длина шва, определяемая по формуле:

$$l_{\min} = \frac{N}{t \cdot R_{wy} \cdot \gamma_c} \quad (27)$$

где:

t — наименьшая из толщин соединяемых элементов.²

Здесь был рассмотрен случай, когда предполагается, что меняется только длина шва в процессе эксплуатации и при этом никак не затрагиваются соединяемые элементы.

В общем же случае, когда меняется как длина шва, так и толщина свариваемых деталей формула оценки срока службы будет иметь вид:

$$T = \frac{1 - \frac{N}{t \cdot l_w \cdot R_{wy} \cdot \gamma_c}}{\nu_1} \quad (28)$$

При определении срока службы сварного соединения с угловыми швами на действие силы N , проходящей через центр тяжести соединения минимальным критерием будет произведение катета шва и его длина.

Формулы срока службы будут иметь вид:

- по металлу шва:

$$T = \frac{1 - \frac{N}{\beta_f \cdot k_f \cdot l_w \cdot R_{wf} \cdot \gamma_c}}{\nu_2} \quad (29)$$

- по металлу границы сплавления:

$$T = \frac{1 - \frac{N}{\beta_z \cdot k_f \cdot l_w \cdot R_{wz} \cdot \gamma_c}}{\nu_3} \quad (30)$$

где:

l_w — расчетная длина швов в сварном соединении, равная суммарной длине всех его участков за вычетом по 1 см на каждом непрерывном участке шва;²

β_f, β_z — коэффициенты, принимаемые по таблице 39 СП 16.13330.2017;²

R_{wy}, R_{wf}, R_{wz} — расчетные сопротивления сварных соединений.²

При определении срока службы сварного соединения с угловыми швами на действие момента M в плоскости, перпендикулярной к плоскости расположения швов минимальными критериями будут моменты сопротивления.

Формулы срока службы будут иметь вид:

- по металлу шва:

$$T = \frac{1 - \frac{N}{W_f \cdot R_{wf} \cdot \gamma_c}}{\nu_4} \quad (31)$$

- по металлу границы сплавления:

$$T = \frac{1 - \frac{N}{W_z \cdot R_{wz} \cdot \gamma_c}}{\nu_5} \quad (32)$$

где:

W_f и W_z — моменты сопротивления расчетных сечений сварного соединения по металлу шва и по металлу границы сплавления соответственно².

При определении срока службы сварного соединения с угловыми швами на действие момента M в плоскости расположения этих швов минимальными критериями будут моменты инерции и координаты точек сварного соединения, наиболее удаленной от центра тяжести.

Формулы срока службы будут иметь вид:

- по металлу шва:

$$T = \frac{1 - \frac{M \cdot \sqrt{x^2 + y^2}}{(I_{fx} + I_{fy}) \cdot R_{wf} \cdot \gamma_c}}{\nu_6} \quad (33)$$

- по металлу границы сплавления:

$$T = \frac{1 - \frac{M \cdot \sqrt{x^2 + y^2}}{(I_{zx} + I_{zy}) \cdot R_{wz} \cdot \gamma_c}}{\nu_7} \quad (34)$$

где:

x и y — координаты точки сварного соединения, наиболее удаленной от центра тяжести расчетного сечения;²

I_{fx} , I_{fy} — моменты инерции расчетного сечения сварного соединения по металлу шва относительно его главных осей x - x и y - y , соответственно;²

I_{zx} , I_{zy} — то же, по металлу границы сплавления.²

Важно отметить, что в отличие от металла самих соединяемых деталей в случае сварных швов для разных расчетных случаев могут участвовать разные параметры как катет или длина шва в отдельности, так и совместно.

Поэтому в данном случае важно оценивать срок службы шва комплексно по нескольким проверкам сразу назначая срок службы как минимальный из полученных значений.

5. Оценка срока службы винтов

Поскольку в рассматриваемых нами соединениях деревянных колонн с фундаментом (рис. 4) винтовые соединения работают в основном на сдвиговые усилия, то оценка срока службы будет осуществляться для них как для нагелей. Основным расчетным параметром будет диаметр нагелей, минимальное значение которого следует определять согласно таблице 18 СП 64.13330.⁴

6. Оценка срока службы древесины в местах контакта с соединительными элементами

В случае, если усилие, передаваемое нагелем, направлено под углом к волокнам, то существует вероятность раскалывания древесины. Следовательно, необходимо учесть этот фактор при оценке срока службы.

В этом случае уравнение будет иметь вид:

$$T = \frac{14 \cdot w \cdot b \sqrt{\frac{h_e}{\left(1 - \frac{h_e}{h}\right)}} \cdot m_{дл} \cdot \frac{\prod m_i}{\gamma_m} - F_p}{v} \quad (35)$$

где:

F_p — максимальное сдвигающее усилие;

w — коэффициент, принимаемый в соответствии с СП 64.13330;⁴

b — ширина деревянного элемента, мм;⁴

h_e — расстояние от центра наиболее удаленного от края деревянного элемента нагеля до кромки деревянного элемента, мм;³

h — высота деревянного элемента, мм;⁴

$m_{дл}$ — коэффициент длительной прочности, определяемый по таблице 4 СП 64.13330;⁴

$\prod m_i$ — произведение коэффициентов условий работы;⁴

γ_m — коэффициент надежности по материалу.⁴

Использование формулы (27) сопровождается с учетом рекомендаций, приведенных в пунктах 8.15-8.19 СП 64.13330.⁴

7. Оценка скорости изменения принятого параметра

Теперь рассмотрим зависимости для оценки скорости изменения диаметра во времени. Разработано множество подходов для определения скорости коррозии [7–16]. В рамках данной статьи авторы будут использовать лишь те подходы, которые нашли широкое экспериментальное подтверждение, и они позволяют хорошо описать процесс коррозии применительно к болтам колонн при различных условиях. Важно отметить, что несмотря на то, что эти зависимости описывают изменение толщины элемента, те же самые расчетные положения можно применить и для диаметра болта, поскольку, по сути, он является той же толщиной в любом направлении.

⁴ СП 64.13330.2017 «СНиП II-25-80 Деревянные конструкции».

Будет рассмотрено две ситуации: на этапе эксплуатации и при проектировании.

На этапе эксплуатации используется уравнение средней скорости «утонения» металла:

$$v = \frac{S + C_o - s_f}{t} \quad (36)$$

где:

S — исполнительная толщина (диаметр) металла, мм (выбирается из проектной (конструкторской) документации);

t — срок эксплуатации металлоконструкции;

s_f — фактическое утонение металла за период эксплуатации, мм.

$$s_f = S - S_f \quad (37)$$

Данное уравнение (28) можно чисто теоретически применять и при проектировании конструкций. Однако это возможно только в том случае, если накоплено достаточно экспериментальных данных за длительный период наблюдения, которые позволяют достаточно точно прогнозировать указать значения скорости коррозии, которое можно применять как среднее за планируемый срок службы.

В данном случае несмотря на то, что при подстановке уравнения (36) в формулу (1) также присутствует время, в уравнении этот параметр не сократится, поскольку речь идет об сроке эксплуатации, за которое есть сведения по скорости коррозии. Поэтому в данном случае оно выступает в качестве постоянной величины. А рассчитываемый срок службы остается переменной величиной, которую мы и определяем.

Также этапе проектирования могут быть использованы регрессионные уравнения. Обычно применяются следующие зависимости:

1. Линейная:

$$v = a \cdot t + m \quad (38)$$

где:

a — случайный параметр;

m — детерминированный параметр.

При равномерной коррозии $m = 0$.

Эта зависимость хорошо описывает кинетику разрушения металлов при общей коррозии.

2. Степенная:

$$v = a \cdot t^m \quad (39)$$

Зависимость применяется при описании коррозии под напряжением и изнашивании. При химической коррозии металлов, в частности, при газовой m часто имеет значения, близкие к 1/2. Изменение максимальной глубины питтингов хорошо описывается при $m = 1/3$.

3. Логарифмическая:

$$v = a \cdot \ln(t + m) \quad (40)$$

Зависимость хорошо описывает кинетику газовой и локальной коррозии.

В отличие от рассмотренного ранее уравнения (36) формулы (38–40) содержат время как переменную величину. Поэтому в данном случае необходимо путем их подстановки в выражение (1) вывести конечные формулы для определения сроков службы на этапе проектирования. Для упрощения расчетов выведенные уравнения для определения минимальной толщины стенки подставляться не будут. Чтобы не возникло путаницы с обозначениями в качестве минимальной величины подставим диаметр элемента. Аналогичные рассуждения справедливы и для толщины элемента.

При подстановке выражения (38) получаем:

$$t = \frac{d_{\text{фак}} - d_{\text{мин}}}{a \cdot t + m} \quad (41)$$

Избавимся от дроби.

$$t \cdot (a \cdot t + m) = d_{\text{фак}} - d_{\text{мин}} \quad (42)$$

Раскроем скобочки и перенесем все в левую часть:

$$a \cdot t^2 + m \cdot t - (d_{\text{фак}} - d_{\text{мин}}) = 0 \quad (43)$$

Решая квадратное уравнение, получим:

$$t_{1,2} = \frac{-m \pm \sqrt{m^2 + 4 \cdot a \cdot (d_{\text{фак}} - d_{\text{мин}})}}{2a} \quad (44)$$

При подстановке выражения (39) получаем:

$$t = \frac{d_{\text{фак}} - d_{\text{мин}}}{a \cdot t^m} \quad (45)$$

Избавимся от дроби.

$$a \cdot t^{m+1} = d_{\text{фак}} - d_{\text{мин}} \quad (46)$$

Решая степенное уравнение, получим:

$$t = \sqrt[m+1]{\frac{d_{\text{фак}} - d_{\text{мин}}}{a}} \quad (47)$$

При подстановке выражения (40) получаем:

$$t = \frac{d_{\text{фак}} - d_{\text{мин}}}{a \cdot \ln(t + m)} \quad (48)$$

Избавимся от дроби.

$$t \cdot a \cdot \ln(t + m) = d_{\text{фак}} - d_{\text{мин}} \quad (49)$$

Это уравнение не имеет аналитического решения в стандартной форме, поэтому необходимо использовать итерации с подстановкой переменной t для нахождения значения срока службы.

Представленное выше уравнение (36), может быть использовано и для оценки скорости изменения произвольно принятого параметра во времени. Просто вместо толщины элемента в формулу подставляется та величина, которую используют в качестве параметра для определения срока службы.

Использование формул (38–40) для случаев, когда параметр может включать в себя несколько величин представляется сомнительным, поскольку в данном случае скорость все-таки будет характеризовать изменение всего параметра во времени, которое фиксируется за ограниченный промежуток времени. Поэтому считать, что такой комплексный показатель может заранее подчиняться определенным законам неверно.

В этом случае необходимо строить по имеющимся данным регулярных мониторингов и обследования технического состояния регрессионных зависимости изменения такого параметра во времени. После этого необходимо брать первую производную и получать уже скорость изменения данного параметра во времени [6].

В заключении хочется отметить, что предложенные выведенные формулы как развитие метода оценки срока службы соединений деревянных колонн с фундаментом может являться отличным дополнением к концепции оценки остаточного ресурса [17] на этапе эксплуатации как средство для корректировки полученного на этапе проектирования срока службы соединений деревянных конструкций. В перспективе планируется расширить перечень соединений, для которых можно применить данный метод, а также вывести математические зависимости для каждого расчетного случая для этих соединений.

ЛИТЕРАТУРА

1. Халтурин Ю.В. Конструкции из дерева и пластмасс: монография / Ю.В. Халтурин, Л.Н. Пантюшина, Е.В. Пантюшина. — Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 2010. — 163 с.
2. Шмидт, А.Б. Атлас строительных конструкций из клееной древесины и водостойкой фанеры / А.Б. Шмидт, П.А. Дмитриев. — М.: Изд. АСВ, 2002. — 262 с.
3. Белый Г.И., Кубасевич А.Е. Влияние усталостных трещин в стенке на прочность подкрановых балок / Вестник МГСУ. 2023. Т. 18. № 11. С. 1780–1790.
4. Кубасевич А.Е., Ковалевский А.В. Несущая способность кольцевых фланцевых соединений электросварных труб разного диаметра / Инженерный вестник Дона. 2024. № 7(115). С. 348–360.
5. Корольков Д.И. Оценка остаточного ресурса деревянных конструкций по изменению геометрических параметров поперечного сечения Вестник гражданских инженеров. 2021. № 2(85). С. 49–56.
6. Мамедов, Ш.М. Оценка остаточного ресурса и срока службы керамического кирпича / Ш.М. Мамедов, Д.И. Корольков, П.Н. Пачулия, Р.Р. Сайганов // Вестник евразийской науки. — 2024. — Т.16. — № 2. — URL: <https://esj.today/PDF/78SAVN224.pdf>.
7. Слесарев П.В. Влияние формы сечений элементов фермы и их расположения на скорость коррозии / Наука и образование сегодня. 2016. № 6(7). С. 50–52.
8. Магомедов Р.М., Муртузов М.М. К расчету прочности и долговечности тонкостенных металлических конструкций, подвергающихся равномерному коррозионному износу / В сборнике: Автотранспортный комплекс: стратегия, инновации, кадры. сборник научных трудов 8-ой Международной научно-практической конференции. Москва, 2022. С. 175–183.

9. Кантемиров И.Ф. Метод оценки ресурса безопасной эксплуатации резервуаров с учетом коррозионно-механического и температурного воздействий рабочей среды / Проблемы сбора, подготовки и транспорта нефти и нефтепродуктов. 2010. № 4(82). С. 101–105.
10. Торопынин С.И., Медведев М.С. Влияние параметров окружающей среды на коррозионные процессы оборудования животноводческих ферм / Вестник КрасГАУ. 2018. № 3(138). С. 64–68.
11. Золотухин С.Е., Курбатов А.Ю., Ветрова М.А., Грунский В.Н. Исследование коррозионной стойкости нержавеющей хромоникелевых сталей и коррозионно-стойких никелевых сплавов в горячей концентрированной серной кислоте / Вестник Московского государственного технического университета им. Н.Э. Баумана. Серия Естественные науки. 2023. № 6 (111). С. 83–96.
12. Соколов Р.А., Муратов К.Р., Мамадалиев Р.А. Морфологические изменения поверхности деформированной конструкционной стали в коррозионно-активной среде / Обработка металлов (технология, оборудование, инструменты). 2025. Т. 27. № 2. С. 174–188.
13. Бедник В.С., Гаврилова А.И. Коррозия, как фактор, влияющий на снижение несущей способности металлических конструкций / В сборнике: Актуальные проблемы инженерных наук. материалы VI-й ежегодной научно-практической конференции преподавателей, студентов и молодых ученых Северо-Кавказского федерального университета «Университетская наука — региону». 2018. С. 248–251.
14. Носков И.В. Оценка долговечности оцинкованных многолопастных винтовых свай "BAU" / Ползуновский вестник. 2016. № 4-2. С. 192–195.
15. 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 имени Г.И. Носова, 2011. — С. 17–22.
16. Суцев С.П., Адаменко И.А., Самолинов Н.А. Остаточный ресурс конструкций здания (сооружения) и возможные методы его оценки // Предотвращение аварий зданий и сооружений: электрон. журн. / ООО «Велд», 2009. — URL: <https://pamag.ru/pressa/ostatok-resurs>.
17. Черных, А.Г. Определение расчетного срока службы LVL-конструкции при изгибе до капитального ремонта / А.Г. Черных, П.С. Коваль, Е.В. Данилов, Д.И. Корольков, В.Н. Глухих // Вестник евразийской науки. — 2025. — Т.17. — № 1. — URL: <https://esj.today/PDF/55SAVN125.pdf>.

Korolkov Dmitry Igorevich

Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering, Saint Petersburg, Russia
E-mail: korol9520@yandex.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8063-1878>
RSCI: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=945627

Kondratieva Lidiia Nikitovna

Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering, Saint Petersburg, Russia
E-mail: condratjevaln@yandex.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6174-5565>
RSCI: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=349260

Savin Sergei Nikolaevich

Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering, Saint Petersburg, Russia
E-mail: savinsn@gmail.com
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9369-8214>
RSCI: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=426347
SCOPUS: <https://www.scopus.com/authid/detail.url?authorId=56868321400>

Kubasevich Anton Evgenevich

Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering, Saint Petersburg, Russia
E-mail: anton_kubasevich@mail.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5186-8518>
RSCI: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=1060856
WoS: <https://www.webofscience.com/wos/author/rid/OEM-9927-2025>

Service life assessment of timber column-to-foundation connections

Abstract. When assessing the service life and remaining life of building and structure components, only the structural members are typically assessed. This neglects such crucial components of any capital construction project as connections. Yet, these elements can play a role that is not only as important as the structural members themselves but can sometimes even exceed them in ensuring the load-bearing capacity of buildings and structures.

Therefore, assessing their service life and remaining life is of paramount importance in terms of ensuring the reliability, durability, and safety of construction projects as a whole.

Therefore, in this article, the authors propose using a method for assessing service life and remaining life during the operational phase using the rate of change of the load-bearing capacity parameter over time to address this issue.

The essence of this method is that during the operational phase, the actual condition of the building structures and their connections is recorded during an inspection. Based on calculation results or design documentation, a minimum required value for the load-bearing capacity parameter is established. Using data from the operational period of the capital construction project, the rate of change of the selected parameter over time is determined.

In this paper, the authors examine the main connections of wooden columns to the foundation. Based on the analysis of these connections, the main components of these connections were identified, for which service life calculations are generally necessary.

In this article, the authors derived calculation relationships for estimating the minimum value of each identified component during testing under various stress conditions.

The authors also proposed mathematical expressions for estimating the rate of change of these parameters over time.

The article presents the materials of a dissertation study.

Keywords: service life; residual life; corrosion rate; column connections to the foundation on adjustable and non-adjustable supports; T-shaped support; cross-shaped support; connections with bolted plates; column connections using steel ties