

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

2023, Том 15, № 2 / 2023, Vol. 15, Iss. 2 <https://esj.today/issue-2-2023.html>

URL статьи: <https://esj.today/PDF/63SAVN223.pdf>

Ссылка для цитирования этой статьи:

Корольков, Д. И. Разработка методики определения физического износа стальных колонн / Д. И. Корольков, Ю. И. Шубина // Вестник евразийской науки. — 2023. — Т. 15. — № 2. — URL: <https://esj.today/PDF/63SAVN223.pdf>

For citation:

Korolkov D.I., Shubina Yu.I. Development of a method for determining the physical wear of steel columns. *The Eurasian Scientific Journal*. 2023; 15(2): 63SAVN223. Available at: <https://esj.today/PDF/63SAVN223.pdf>. (In Russ., abstract in Eng.)

Корольков Дмитрий Игоревич

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

E-mail: korol9520@yandex.ru

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

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

Шубина Юлия Игоревна

ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет»,
Санкт-Петербург, Россия
E-mail: y.shubina05@gmail.com

Разработка методики определения физического износа стальных колонн

Аннотация. Физический износ конструкций зданий и сооружений является прогрессирующей величиной связи с накоплением дефектов и повреждений в течение периода эксплуатации. По величине установленного физического износа определяется категория технического состояния строительных конструкций. Вычисление фактического значения величины физического износа сопряжено с оценкой степени исчерпания несущей способности конструкций зданий или сооружений, прогнозированием остаточного ресурса с целью дальнейшей разработки решений и осуществления мероприятий по восстановительно-ремонтным работам. Существующая методика определения физического износа строительных конструкций ВСН 53-86(р) не отражает современных тенденций в развитии строительных материалов и новых подходов к оценке категорий технического состояния зданий и сооружений.

Авторами предложена новая методика по вычислению физического износа, проиллюстрированная на примере стальных колонн. В основе методики интервальная шкала значений физического износа от 0 до 100 %, соотнесённая с классификатором основных дефектов и повреждений стальных колонн. Предложены весовые коэффициенты, учитывающие вклад дефектов и повреждений в общее значение величины физического износа. Разработан проект таблицы для стальных колонн, учитывающий результаты выполнения визуального и инструментального обследования.

Для практического применения авторами разработан алгоритм и выполнен расчет физического износа по результатам обследования реального объекта, с последующим определением величины остаточного ресурса. Расчет физического износа выполнен по

методике, предложенной авторами и по одной из действующих методик, с последующим сопоставлением полученных результатов расчета.

Данная работа была проведена в рамках диссертационного исследования.

Ключевые слова: физический износ; стальные конструкции; дефекты; повреждения; категория технического состояния; остаточный ресурс; срок службы

Величина физического износа может быть вычислена по данным результатов визуально-инструментального обследования или на основании нормативно-экспертной документации, где изложены методики определения. На сегодняшний день известны прямые, экспертные, статические и расчетно-аналитические методы вычисления физического износа [1–4]. Основными недостатками методов оценки физического износа конструкций зданий и сооружений являются:

- отсутствие описания дефектов и повреждений современных конструкций и элементов;
- использование обобщенных терминов в качестве описания дефектов и повреждений конструкций без учета контролируемых параметров;
- значительный интервал физического износа;
- высокая погрешность при выполнении округления величины физического износа;
- отсутствие учета степени влияния дефектов и повреждений на несущую способность конструкции либо элемента.

Исходя из перечисленных недостатков следует, что методы вычисления физического износа конструкций, приведенные в нормативно-технической документации, не обладают объективностью и достаточной точностью. Таким образом, необходимо актуализировать нормативные документы.

Физический износ здания и сооружения подразумевает величину, характеризующую потерю первоначальных эксплуатационных качеств [5]. Значение физического износа применяется с целью назначения категории технического состояния при обследовании зданий и сооружений. По данным [6] диапазон физического износа распределяется следующим образом:

- до 20 % — нормативное техническое состояние;
- от 21 до 50 % — работоспособное техническое состояние;
- от 51 до 70 % — ограниченно-работоспособное состояние;
- более 70 % — аварийное состояние.

Техническое состояние стальных конструкций определяется на основе оценки следующих факторов [7–9]:

- наличие отклонений фактических размеров поперечных сечений стальных элементов от проектных;
- наличие дефектов и механических повреждений;
- состояние сварных, заклепочных и болтовых соединений;
- степень и характер коррозии элементов и соединений;

- прогибы и деформации;
- прочностные характеристики стали согласно;
- наличие отклонений элементов от проектного положения.

Обладая информацией о фактических физико-механических характеристиках, описании дефектов и повреждений вычисляется физический износ строительной конструкций.

На сегодняшний день вопрос вычисления физического износа изучен обширно, известны следующие методы [1–4]:

- метод компенсации затрат;
- метод хронологического возраста;
- метод эффективного возраста;
- экспертный метод;
- метод разбивки.

В данной статье проанализируем метод, изложенный в ВСН 53-86(р)¹, где физический износ отдельных конструкций, элемента, системы или здания в целом, оценивается путем сравнения признаков износа, выявленных в результате визуального и инструментального обследования, со значениями, приведенными в таблицах нормативного документа. Необходимо отметить, что последняя редакция ВСН 53-86(р)¹ издана в 1985 г.

Физический износ конструкции определяется по формуле (1):

$$\Phi_{\kappa} = \sum_{i=1}^{i=n} \Phi_i \frac{P_i}{P_{\kappa}}, \quad (1)$$

где Φ_{κ} — физический износ конструкции, элемента или системы, %; Φ_i — физический износ участка конструкции, элемента или системы, определяемы по таблицам ВСН 53-86(р)¹; P_i — размеры (площадь или длина) поврежденного участка, м² и м; P_{κ} — размеры всей конструкции, м² и м; n — число поврежденных участков.

В то же время следует отметить и ряд недостатков, присущих данному документу. Количество категорий технического состояния уменьшилось с семи до пяти, то есть чем меньше категорий, тем сложнее оценить техническое состояние, поскольку тот или иной дефект может относиться к разным категориям. Предельная величина физического износа ограничена 70–80 %. Назначение данного предела вызывает вопросы в обосновании такого решения, так как по имеющимся представлениям 100 % износа соответствует исчерпанию примерно 50 % запаса несущей способности, заложенного при проектировании и строительстве [10]. Такое соотношение соответствует моменту времени, когда конструкция переходит из ограниченно-работоспособного в аварийную категорию технического состояния. Следующим существенным недостатком является отсутствие количественных критериев (показателей) для дефектов каждого интервала износа. Также отсутствует четкий алгоритм действий при назначении промежуточного значения, лежащего в диапазоне согласно таблицам ВСН 53-86(р)¹, физического износа. Соответственно нет четких критериев по обоснованию назначенной специалистом величины физического износа.

¹ Ведомственные строительные нормы. Правила оценки физического износа жилых зданий. ВСН 53-86(р) (утв. Приказом Госгражданстроя при Госстрое СССР от 24.12.1986 № 446).

В нормативном документе не учитывается совокупность влияния накопленных дефектов строительной конструкции.

В рамках проведенного исследования авторами разработана методика, включающего проект таблицы для стальных колонн (табл. 1).

Таблица 1

Проект таблицы по определению физического износа стальных колонн

Признаки износа	Количественная оценка		Физический износ, %
	визуальный контроль	инструментальный контроль	
1	2	3	4
Группа 1. 1. Повреждение защитного покрытия на отдельных участках.	Повреждения на площади от 0 до 10 %	Несущая способность не снижена	0–10
Группа 2. Все дефекты группы 1. 2. Механические повреждения поверхности.	Повреждения на площади от 11 до 20 %	Несущая способность не снижена	11–20
Группа 3. Все дефекты группы 2. 3. Сплошная поверхностная коррозия элементов поперечного сечения.	Повреждения на площади от 21 до 30 %	Несущая способность не снижена	21–30
Группа 4. Все дефекты группы 3. 4. Отклонение или смещение от проектного положения более предельного согласно СП 70.13330.2012. ²	Повреждения на площади от 31 до 40 %	Несущая способность не снижена	31–40
Группа 5. Все дефекты группы 4. 5. Отклонение или смещение от проектного положения составляет более 50 %. Непрямолинейность элементов. Взаимное смещение конструкций (внеузловое опирание, расцентровка). Разность отметок более допустимого согласно СП 70.13330.2012. ³	Повреждения на площади от 41 до 50 %	Несущая способность снижена от 0 до 10 %	41–50
Группа 6. Все дефекты группы 5. 6. Отсутствие либо ослабление болтов, заклепок или других соединительных элементов.	Повреждения на площади от 51 до 60 %	Несущая способность снижена от 11 до 20 %	51–60
Группа 7. Все дефекты группы 6. 7. Наличие раковин, пор, трещин, неполномерность швов в сварных швах.	Повреждения на площади от 61 до 70 %	Несущая способность снижена от 21 до 30 %	61–70
Группа 8. Все дефекты группы 7. 8. Повреждение поперечного сечения язвенной, пластинчатой видами коррозии глубиной более 0,5 мм.	Повреждения на площади от 71 до 80 %	Несущая способность снижена от 31 до 40 %	71–80
Группа 9. Все дефекты группы 8. 9. Механическое повреждение конструкции (редукция поперечного сечения).	Повреждения на площади от 81 до 100 %	Несущая способность снижена на 41 % и более	81-100

Разработано авторами

Данная таблица носит рекомендательный характер и предназначена в качестве шаблона для разработки в дальнейшем специализированных таблиц применительно к конкретным типам конструкций и материалам, из которых они сделаны.

² СП 70.13330.2012 «СНиП 3.03.01-87 Несущие и ограждающие конструкции».

Перечень дефектов определен на основании сведений представленной в научной [7–14] и технической литературе^{3,4}.

В таблице дефекты разделены группами (столбец № 1). Каждая группа соответствует определенному интервалу физического износа (столбец № 4). В группе прописаны «**типы**» дефектов, включающие набор дефектов, объединенные вместе по признаку влияния на рассматриваемую конструкцию (столбцы № 2 и № 3). Тип может состоять как из одного дефекта, так и из нескольких. Каждая последующая группа включает все дефекты предыдущей группы. Группы сформированы таким образом, чтобы по мере роста их порядкового номера в каждую последующую добавлялся только один тип дефектов. При этом группы могут формироваться и без увеличения числа «**типов**» дефектов. Это возможно в том случае, если описание одного или нескольких дефектов в рамках одного «**типа**» качественно меняется, что свидетельствует о его более значимом влиянии на конструкцию, чем указано для такого же типа из предыдущей группы. Тогда формируется последующая группа без увеличения числа «**типов**» дефектов, но уже с качественно другим описанием.

Количественная оценка дефектов и повреждений по результатам визуального представления в виде процентного соотношения поврежденной поверхности к общей площади конструкции (столбец № 3). Площадь повреждения определяется как суммарная площадь всех дефектов, входящих в одну группу.

Оценка величины физического износа по результатам инструментального обследования характеризует снижения величины несущей способности в процентном отношении к проектной (столбец № 4). Если площадь повреждения соответствует максимальному значению количественной оценки (столбец № 3), то величина физического износа принимается по верхней границе диапазона (столбец № 5). 1 % физического износа соответствует 1 % площади повреждения строительной конструкции и 1 % снижения несущей способности (столбец № 4). При площади повреждения менее табличной в группе дефекта физический износ принимается равным нижней границе интервала.

Введем весовые коэффициенты значимости для каждой группы и «**типов**» дефектов. Для каждой предыдущей группы в целом весовой коэффициент в рамках текущей группы равен 0,5. Для «**типов**» дефектов весовые коэффициенты отличаются по мере роста порядкового номера группы. Весовой коэффициент назначается в зависимости от порядкового номера дефекты согласно сквозной нумерации таблицы 1. Авторами данной статьи приведены коэффициенты для 9 уровней групп, они сведены в таблице 2.

Предложенный способ назначения значимости дефектов (табл. 2) и проект таблицы (табл. 1), имеет ряд преимуществ по сравнению с существующими нормативно-техническими документами:

1. Учитывает взаимовлияние дефектов, посредством введения коэффициентов значимости (весовых коэффициентов) для каждой группы дефектов.
2. Введены количественные показатели (критерии) как по результатам визуального, так и для инструментального обследования.
3. Диапазон физического износа используется от 0 до 100 %.

³ Таблицы для определения физического износа конструкций и элементов жилых, общественных, производственных зданий. Интегрированные Консалтинговые Системы. М., — 2011. — 71 с.

⁴ Оценка физического износа жилых, общественных и промышленных зданий: практ. пособие / А.А. Васильев, С.В. Дзирко, К.Н. Пироговский; под общ. ред. А.А. Васильева; М-во образования Респ. Беларусь, Белорус. гос. у-нт трансп. — Гомель: БелГУТ, 2008. — 207 с.

4. Физический износ определяется на основе показателей визуального и инструментального обследования с точностью до 1 %.

Таблица 2

Значения весовых коэффициентов для типов дефектов в зависимости от группы, в которой они находятся

Номер группы	Номер «типа» дефекта								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	1								
2	0,5	0,5							
3	0,25	0,25	0,5						
4	0,125	0,125	0,25	0,5					
5	0,0625	0,0625	0,125	0,25	0,5				
6	0,0312	0,0312	0,0625	0,125	0,25	0,5			
7	0,0156	0,0156	0,0312	0,0625	0,125	0,25	0,5		
8	0,0078	0,0078	0,0156	0,0312	0,0625	0,125	0,25	0,5	
9	0,0039	0,0039	0,0078	0,0156	0,0312	0,0625	0,125	0,25	0,5

Разработано авторами

На основании вышеизложенного авторами была разработана пошаговая методика определения физического износа стальных колон:

1. Оценку величины физического износа проводят по результатам визуального и инструментального контроля. Сначала оценивается несущая способность колонны. Показатель физического износа по снижению несущей способности имеет преимущественное значение.

2. По результатам инструментального контроля проводится поверочный расчет и определяется снижена ли несущая способность и на сколько. Соотношение показателя снижения несущей способности к значению величины физического износа брать такое, какое прописано в таблице для каждой группы дефектов.

3. В случае, отсутствия возможности оценить показатель снижения несущей способности или по результатам поверочного расчета установлено, что несущая способность не снижена, оценку физического износа следует проводить по результатам визуального обследования.

4. Определяется перечень дефектов, выявленных по результатам визуального контроля. Составляется ведомость дефектов.

5. Для каждого дефекта определяется площадь поверхности занятой данным дефектом на обследуемой конструкции. Данное значение прописывается в ведомости дефектов.

6. Описание каждого дефекта сравнивается с табличным для отнесения его к определенному типу, а также к той или иной группе дефектов, согласно таблице 1. По результатам данного сравнения определяется к какой группе относится выявленный набор дефектов. Группа присваивается по старшинству выявленного типа дефектов.

Примечание. Рекомендуется пользоваться общепринятыми названиями дефектов и повреждений для лучшей оценки их принадлежности к той или иной группе, согласно таблице.

7. На основании присвоенной группы и перечня «типов» дефектов определяется суммарный весовой коэффициент, определяемый как сумма всех весовых коэффициентов типов дефектов, входящих в данную группу.

8. Определяется суммарная площадь повреждения для присвоенной группы дефектов.

9. По значению суммарной площади повреждения, для присвоенной группы дефектов, назначается величина физического износа. Соотношение площади повреждения к значению величины физического износа брать такое, какое прописано в таблице для каждой группы дефектов.

10. В случае, если площадь повреждения для определенной группы превышает ту, что указана для нее в таблице, то величина физического износа принимается по следующим правилам:

- 1) если значение площади повреждения больше максимальной для данной группы не более 20 %, то принимается максимальная величина физического износа для данной группы и весовой коэффициент принимается равным единице;
- 2) если значение площади повреждения больше 20 % для данной группы, то принимается максимальное значение физического износа для следующей группы и весовой коэффициент принимается равным единице.

Например, если по результатам обследования колонн К-1 и К-2 выявленные дефекты и повреждения по таблице 1 отнесены к группе 4 (максимальная площадь повреждения 40 %), а площадь повреждения для К-1 составляет 52 %, для К-2 — 63 %, то для колонны К-1 физический износ равен 40 % (т. к. разница с максимальной площадью повреждения составляет $52 - 40 = 12$ %), для К-2 — 50 % ($63 - 40 = 23$ %).

Если площадь повреждения для определенной группы меньше той, что указана для нее в таблице, то величина физического износа принимается равной минимальному значению для данной группы, согласно таблице.

11. Полученную величину физического износа необходимо умножить на весовой коэффициент, для присвоенной группы дефектов.

Если величина физического износа принята равной минимальному значению для данной группы, то весовой коэффициент принимается равным нулю.

12. Окончательная величина физического износа определяется:

$$\Phi_{\text{окон}} = \Phi_{\text{ниж}} + (\Phi_{\text{фак}} - \Phi_{\text{ниж}}) \cdot k_i, \quad (2)$$

где $\Phi_{\text{ниж}}$ — нижнее значение физического износа для принятой группы; $\Phi_{\text{фак}}$ — фактическое значение физического износа; k_i — весовой коэффициент для принятой группы.



Рисунок 1. Общий вид стальной колонны, подлежащей расчету (создано авторами)

Выполним пример расчета физического износа стальной колонны, обследование которой выполнено в 2021 г. для участка приготовления сухой шихты (рис. 1 и 2). В качестве объекта применяется колонна, имеющая составное коробчатое поперечное сечение.



Рисунок 2. Общий вид стальной колонны, подлежащей расчету (создано авторами)

В результате обмерных работ, сечение колонны коробчатое, выполненное из швеллеров 14П по ГОСТ 8240-97⁵, повернутыми полками внутрь. Расстояние между центрами тяжести сечений — 78,6 мм. Объединение швеллеров в единое сечение выполнено прихватками. Длина сварного шва 14–26 мм, шаг швов составляет 400 мм. Высота колонны составляет 3,07 м.



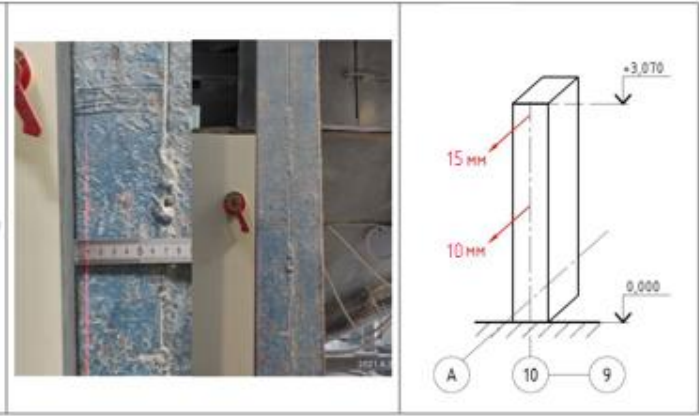
В результате выполненных работ по обследованию выявлены дефекты и повреждения, которые представлены в таблице 3. Информация об результатах поверочного расчет отсутствует. В рамках работ проведена толщинометрия с помощью ультразвукового толщиномера А1207. Также измерения твердости по Бринеллю посредством использования твердомера ТКМ459СМ по ГОСТ 9012-59⁶. Фактическая толщина полок швеллеров стальной колонны соответствует ГОСТ 8240-97³, марка стали, по результатам неразрушающего контроля, С245.

⁵ ГОСТ 8240-97 Швеллеры стальные горячекатаные. Сортамент.

⁶ ГОСТ 9012-59 Металлы. Метод измерения твердости по Бринеллю.

Таблица 3

Ведомость дефектов и повреждений стальной колонны

Фотофиксация дефекта	Описание дефекта
1	2
	<p>Несплавление основного металла по всей длине шва. Площадь повреждения 15 %.</p>
	<p>Избыток наплавленного металла сварного шва. Капли наплавленного металла, образовавшиеся во время сварки и прилипшие к поверхности затвердевшего металла сварного шва. Площадь повреждения 15 %.</p>
	<p>Отклонение колонны на величину 15 мм.</p>

Разработано авторами

Фотофиксация произведенных измерений приведена на рисунках 3–4.



Рисунок 3. Контроль толщины швов ивеллера в составном сечении колонны (создано авторами)



Рисунок 4. Результат выполненного измерения твердости стальной колонны (создано авторами)

Расчет физического износа по методике А.А. Васильева, С.В. Дзирко, К.Н. Пироговского [14].

Вычисление физического износа стальной колонны выполнено на основании практического пособия. Согласно таблицам, приведенным в методике 2008 года³ установлено, что признаки физического износа, выявленные в результате обследования, соответствует двум группам, а именно:

1. Разрушение отдельных сварных швов, трещины в сварных швах (соответствует первой группе).
2. Отклонение колонны от вертикали (соответствует второй группе).

Для оценки физического износа производим необходимо предусмотреть интерполяцию значений.

Определение физического износа относительно первой группы. Согласно³ первая группа содержит 3 типа дефекта и повреждения. В ведомости (табл. 3) приведен один признак износа из трех перечисленных. Таким образом, значение физического износа стальных колонн для первой группы признаков находится в интервале от 41 до 60 %, с повреждаемой площадью до 30 %. Доля физического износа для группы равна 1–10 %. Площадь повреждения, характерной для данной группы признаков составляет 15 %. Следовательно, доля одного признака из трех для данного интервала 41–60 % определяется по формуле:

$$D_{ф.з.} = \frac{m}{n_i}, \quad (3)$$

где $D_{ф.з.}$ — доля одного признака физического износа, выявленное в ходе выполнения работ по обследованию, %; m — максимальное значение доли физического износа согласно, %; n_i — количество дефектов, перечисленных в группе согласно³.

Тогда в данном случае доля физического износа для одного признака износа составляет:

$$D_{ф.з.} = \frac{10}{3} = 3,3\%$$

Определение физического износа относительно второй группы.

На основании выполненных работ по обследованию, установлено наличие одного признака из трех во второй группе признаков для интервала 61–80 %: отклонение от вертикали составляет более 50 % от допускаемого. Доля физического износа равна 1–10 %. Так как фактическое отклонение от вертикали превышает допускаемое значение, физический износ увеличивается. Отклонение на 1 % определяется по формуле (6):

$$\Delta = \frac{10}{50} = 0,2\%$$

Физический износ стальной колонны вычисляется суммированием нижнего предела для второй группы и физического износа по двум группам признаков значений. Следовательно, физический износ определяется по формуле:

$$\Phi_u = \Phi_{н.групп.} + \Phi_{п.гр.} + \Phi_{в.гр.}, \quad (4)$$

где Φ_u — физический износ, %; $\Phi_{н.групп.}$ — нижний предел второй группы признаков износа стальных колонн согласно³, %; $\Phi_{п.гр.}$ — физический износ по первой группы признаков износа стальных колонн согласно³, %; $\Phi_{в.гр.}$ — физический износ по второй группе износа стальных колонн согласно³, %.

В итоге физический износ стальной колонны коробчатого сечения составляет:

$$\Phi_u = 61 + 3,3 + 0,2 \cdot 50 = 74,3 \%$$

При округлении полученного значения получаем, что физический износ стальной колонны равен 74 %. При применении методики по практическому пособию³ выявлены следующие недостатки: для приведенных признаков износа из различных применен одинаковый диапазон доли. То есть при равной площади повреждения разные дефекты имеют одинаковый физический износ, при этом влияние на несущую способность элемента различно. При описании типов дефектов и повреждений в группах используются понятия, применяемые

к одному типу дефектов. Например, «разрушение», данный термин подразумевает «размораживание», «расшатывание», «эрозия». Также при анализе приведенный таблиц, количественная оценка некоторых групп отсутствует.

Расчет физического износа по предложенной методике.

Вычисление величины физического износа производится на основании результатов визуального обследования, а также инженерно-геодезической съемки. В результате инструментального обследования фактические характеристики соответствует характеристикам нормативно-технической документации. Поверочный расчет стальной колонны не производился.

По данным составленной ведомости (табл. 3) дефекты и повреждения соответствуют 5 и 7 группам. Физический износ определяется по диапазону группы № 7, так как является старшей согласно перечню (табл. 1).

Определяем весовой коэффициент для каждой группы (табл. 2), значение весового коэффициента для седьмой группы при дефекте под номером 7 равен 0,5, для пятого — 0,125. Таким образом, суммарный весовой коэффициент составляет 0,625.

Назначение физического износа выполняется, исходя из количественной оценки. В результате визуального обследования площадь повреждения для дефектов седьмой группы 15 %, что меньше табличной. Тогда физический износ принимается по нижней границе интервала, то есть составляет 61 % и не умножается на весовой коэффициент.

Таким образом, физический износ равен:

$$\Phi_u = \Phi_{u.гр} = 61 = 61 \%,$$

где $\Phi_{u.гр}$ — физический износ группы, %; $\Phi_{доб.}$ — добавочная величина физического износа вследствие превышения допускаемого значения, %.

Округляя значение, получаем, что физический износ стальной колонны составляет 61 %.

На основании полученных значений физического износа выполним оценку остаточного ресурса стальной колонны с применением экспоненциального распределения [15–18]. Первоначально вычислим величину относительной надежности по формуле:

$$y = 1,0714 \cdot Ph^3 - 1,3929 \cdot Ph^2 + 0,0357 \cdot Ph + 0,99, \quad (5)$$

где y — вероятность относительной надежности; Ph — физический износ.

Для вычисленных значений физического износа относительная вероятность надежности равна:

- при износе 74 % (по методике [18]):

$$y = 1,0714 \cdot 0,74^3 - 1,3929 \cdot 0,74^2 + 0,0357 \cdot 0,74 + 0,99 = 0,6878$$

- при износе 61 % (по предложенной методике):

$$y = 1,0714 \cdot 0,61^3 - 1,3929 \cdot 0,61^2 + 0,0357 \cdot 0,61 + 0,99 = 0,7367$$

Следующим этапом производим вычисление остаточного ресурса в следующей последовательности:

1. Постоянная физического износа по формуле:

$$\lambda = -\frac{\ln \gamma}{t_{\phi}}, \quad (6)$$

где t_{ϕ} — срок эксплуатации в годах на момент обследования; γ — значение относительной надежности.

2. Срок эксплуатации до капитального ремонта согласно формуле:

$$T = \frac{k}{\lambda}, \quad (7)$$

где k — значение, соответствующее категории технического состояния (или вероятности безотказно работы).

3. Остаточный ресурс равен:

$$T_{ост} = T - t_{фак}. \quad (8)$$

Таким образом, определяем остаточный ресурс стальной колонны для вычисленных значений физического износа согласно рассматриваемых методик.

- при износе 74 %:

$$\lambda = -\frac{\ln 0,6878}{40} = 0,009356$$

$$T = \frac{0,22}{0,009356} = 24$$

$$T_{ост} = 24 - 40 = -16 \text{ лет};$$

- при износе 61 %:

$$\lambda = -\frac{\ln 0,7367}{40} = 0,007641$$

$$T = \frac{0,22}{0,007641} = 28$$

$$T_{ост} = 28 - 40 = -12 \text{ лет}.$$

Сопоставление результатов проведенных расчетов указывает на существенное влияние величины физического износа на остаточный ресурс конструкций. В этой связи выбор корректного определения физического износа является основной для объективного определения величины остаточного ресурса с учетом функциональных особенностей и условий эксплуатации деревянных конструкций.

В заключении отметим, что использование при обследовании детализированной шкалы определения дефектов и повреждений и учета их вклада в общую величину физического износа конструкций позволит существенно повысить достоверность расчета остаточного ресурса и сроков службы до и после капитального ремонта.

ЛИТЕРАТУРА

1. Белых А.В. Методика определения величины физического износа нежилых зданий для целей массовой оценки. — 2013. — Журнал правовых и экономических исследований, № 2. С. 78–86.
2. Исследование работы металлических и деревянных конструкций и оценка срока их службы с учетом условий эксплуатации: монография / А.Г. Черных, Е.И. Рыбнов, Н.А. Сенькин [и др.]; Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет. — Санкт-Петербург: СПбГАСУ, 2022. — 354 с.
3. Васильев А.А. Анализ существующей оценки физического износа несущих конструкций зданий и сооружений. — М.: OPEN INNOVATION, 2019. — 36–38 с.
4. Копцева Е.П., Лазарев А.Н. Краткая характеристика существующих методов определения физического износа судов — 2014. — № 10. С. 49–54.
5. Бойко М.Д. Техническое обслуживание и ремонт зданий и сооружений: Справочное пособие. — М.: Стройиздат, 1993. — 104 с.
6. Ибрагимов А.М., Семенов А.С. Зависимость между физическим износом и техническим состоянием элементов зданий жилищного фонда // Жилищное строительство. 2014. № 7. С. 53.
7. Мальганов А.И., Плевков В.С., Полищук А.И. Восстановление и усиление строительных конструкций аварийных и реконструируемых зданий. Атлас схем и чертежей. — М., 1990 — 320 с.
8. Гроздов В.Т. Дефекты строительных конструкций. — М., 2007. — 69 с.
9. Техническое обследование строительных конструкций зданий и сооружений / В.Т. Гроздов. — М., 2000. — 134 с.
10. Осипов С.Н., Поздняков Д.А. Об оценке физического износа упругопластических элементов зданий. — 2015. — Наука и техника, № 6. — С. 30–36.
11. 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/PD/F/219TVN515.pdf> (доступ свободный).
12. O.V. Kuripta, Yu.A. Vorob'eva and O.V. Minakova Automation of Calculations of Physical Deterioration of Elements of Residential Buildings. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, Volume 1079, Chapter 1 022007 (2021). DOI 10.1088/1757-899X/1079/2/022007.
13. L. Petrenko and S. Manjilevska Housing Operation Taking into Account Obsolescence and Physical Deterioration. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. Volume 262, Issue 1 012077 (2017). DOI 10.1088/1757-899X/262/1/012077.
14. A.G. Tamrazyan, A. Ubysz and M. Kharun The degree of physical depreciation of buildings and structures. Journal of Physics: Conference Series 1687 (1) 012008 (2020). DOI 10.1088/1742-6596/1687/1/012008.

15. G.M. Skibin, M.N. Shutova, A.I. Subbotin Approaches for Development of a Universal Method for Calculating the Residual Life of Buildings and Structures. *Procedia Engineering* Volume 150, 2016, Pages 1715–1720.
<https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.07.160>.
16. T.A. Krakhmal'ny, S.I. Evtushenko, M.P. Krakhmal'naya Improvement of a Method of Calculation of a Residual Resource of Small Reinforced Concrete Bridge Constructions. *Procedia Engineering* Volume 150, 2016, Pages 1797–1803
<https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.07.173>.
17. Оценка остаточного ресурса строительных конструкций: монография / Д.И. Корольков: Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет. — Санкт-Петербург: СПбГАСУ, 2021. — 168 с.
18. Черных А.Г., Корольков Д.И., Данилов Е.В., Казакевич Т.Н., Коваль П.С. Оценка гамма-процентного ресурса деревянных конструкций по величине физического износа // Жилищное строительство. 2022. № 4. С. 66–71. DOI: <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2022-2-66-71>.

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://www.elibrary.ru/author_profile.asp?id=945627

Shubina Yulia Igorevna

Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering, Saint Petersburg, Russia

E-mail: y.shubina05@gmail.com

Development of a method for determining the physical wear of steel columns

Abstract. The physical deterioration of the structures of buildings and structures is a progressive value of the connection with the accumulation of defects and damage during the period of operation. According to the value of the established physical wear, the category of the technical condition of building structures is determined. Calculation of the actual value of the value of physical wear is associated with an assessment of the degree of exhaustion of the bearing capacity of structures of buildings or structures, forecasting the residual resource in order to further develop solutions and implement measures for restoration and repair work. The existing methodology for determining the physical wear of building structures VSN 53-86 (r) does not reflect current trends in the development of building materials and new approaches to assessing the categories of technical condition of buildings and structures.

The authors proposed a new method for calculating physical wear, illustrated by the example of steel columns. The methodology is based on the interval scale of physical wear values from 0 to 100 %, correlated with the classifier of the main defects and damages of steel columns. Weight coefficients are proposed that take into account the contribution of defects and damage to the total value of physical wear. A draft table for steel columns has been developed, taking into account the results of visual and instrumental inspection.

For practical application, the authors developed an algorithm and calculated physical wear based on the results of a survey of a real object, followed by determining the value of the residual resource. The calculation of physical wear was carried out according to the method proposed by the authors and according to one of the existing methods, followed by a comparison of the results of the calculation.

This work was carried out as part of a dissertation research.

Keywords: physical wear; steel structures; defects; damage; category of technical condition; residual life; service life