

УДК 69:055

**П. А. Белоусова, А. А. Тибиркова, А. Р. Рисунов,
Е. Н. Карпушко, С. А. Жигульский**

Волгоградский государственный технический университет

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ОСТАТОЧНОГО СРОКА СЛУЖБЫ ЗДАНИЙ НА ОСНОВЕ ВЫЯВЛЕННОЙ ЗАВИСИМОСТИ ОТ ПОКАЗАТЕЛЯ ФИЗИЧЕСКОГО ИЗНОСА

Рассматривается проблема прогнозирования остаточного срока службы зданий на основе показателя физического износа. Проведен анализ ограничений существующих нормативных методик, которые позволяют определить текущий физический износ, но не содержат аппарата для перехода к количественному прогнозу остаточного ресурса. Предложена экспоненциальная математическая модель, устанавливающая функциональную зависимость между физическим износом и остаточным сроком службы. Разработанная зависимость позволяет перейти от качественной оценки к количественному прогнозу и может применяться для экспресс-диагностики зданий.

Ключевые слова: остаточный срок службы, физический износ, прогнозирование, экспоненциальная модель, техническое состояние зданий, диагностика, эксплуатация.

Введение

Эксплуатация зданий приводит к постепенному изменению свойств конструкций под воздействием климата, нагрузок и условий использования. Старение материалов снижает прочность, вызывает дефекты и ведет к росту физического износа, отражающего состояние конструктивных систем¹ [1, 2].

Управление износом становится важной задачей при содержании жилого и общественного фонда.

Нормативные методики позволяют определить уровень физического износа, но не дают возможности рассчитать остаточный срок службы.

ГОСТ 31937—2011 и ВСН 53-86(р) фиксируют текущее состояние конструкций, однако не обеспечивают прогноза дальнейшей работоспособности [3].

Отсутствие количественной оценки ограничивает планирование ремонтов и усложняет управление рисками.

Существующие методы прогнозирования долговечности требуют сложных измерений и трудоемких расчетов, что затрудняет их применение при массовых обследованиях. Так, на рис. 1 приведен график зависимости износа отдельно взятых слоистых конструкций от остаточного срока службы. Однако совмещение в рамках единой системы комплексного показателя остаточного срока службы не рассматривается без проведения инструментального обследования² [1].

¹ О комплексном определении показателей технико-экономического состояния объектов электроэнергетики, в том числе показателей физического износа и энергетической эффективности объектов электросетевого хозяйства, и об осуществлении мониторинга таких показателей : постановление Правительства РФ от 19.12.2016 № 1401 (с изм. и доп.) // Собрание законодательства РФ. 2016. № 52 (ч. VI). Ст. 7626.

² ВСН 53-86(р). Правила оценки физического износа жилых зданий : утв. Приказом Госгражданстроя при Госстрое СССР от 24.12.1986 № 446. М. : Госгражданстрой, 1986. 20 с.

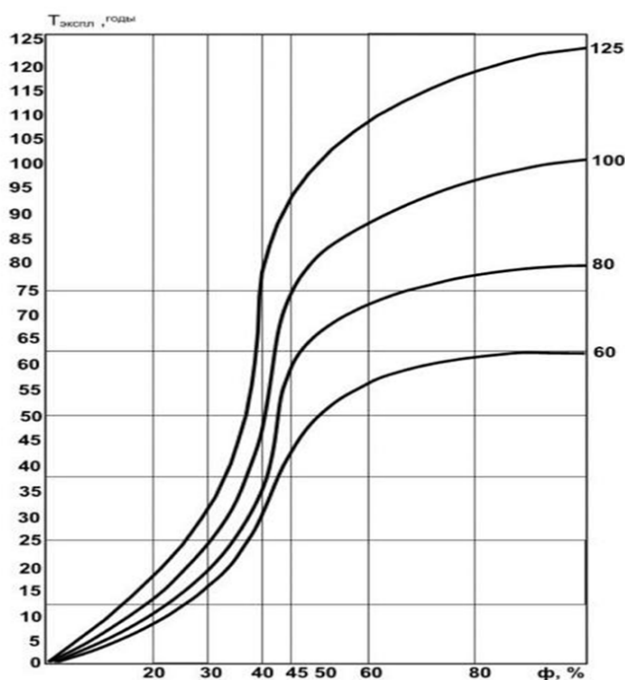


Рис. 1. Физический износ слоистых конструкций³

Возникает потребность в подходе, основанном на результатах визуального контроля и обеспечивающем количественную оценку остаточного ресурса. Интерес представляет связь между физическим износом и сроком службы здания.

Цель исследования состоит в разработке модели, позволяющей определять остаточный срок службы по величине физического износа. Модель обеспечивает переход от диагностической оценки к прогнозу и учитывает нелинейный характер старения конструкций, что повышает точность планирования ремонтных мероприятий.

Модель опирается на статистические закономерности старения конструктивных систем и может применяться для формирования параметров, необходимых при оценке различных зданий и условий эксплуатации. Применение такого подхода расширяет возможности технической диагностики и управления ресурсом.

Основная часть

Рассматривая зарубежный опыт исследователей в вопросе определения физического износа и его показателей, в работе [2] отдельное внимание уделяется постепенному накоплению внутренних дефектов в строительных материалах. На начальных этапах изменения развиваются медленно, затем темп деградации увеличивается. Авторы выделяют несколько стадий снижения прочности, а переход к критическому состоянию сопровождается резким падением ресурса. Указанная особенность старения требует зависимостей, отражающих рост повреждений с течением времени.

³ Там же.

В статье [3] проведен обзор методов прогнозирования срока службы зданий. Рассмотрены подходы, основанные на экспертных шкалах, экспериментальных наблюдениях и аналитических моделях. Отмечается отсутствие формализованной связи между установленным уровнем износа и остаточным ресурсом, что снижает возможность использования результатов обследований при планировании ремонта.

Существующие модели описывают изменение свойств материалов через экспоненциальные функции, отражающие рост интенсивности разрушения при увеличении износа [4—7].

В статьях [8, 9] проанализированы методы оценки долговечности, основанные на сочетании расчетов и наблюдений. Особое внимание уделено пороговым состояниям, при достижении которых развиваются микротрещины, приводящие к резкому сокращению срока службы. Авторы подчеркивают необходимость учета таких явлений при прогнозировании ресурса конструкций.

Методика оценки физического износа, которая регламентирована в ВСН 53-86(р), фиксирует текущее состояние конструкций, но не отражает связь между уровнем износа и развитием повреждений. После перехода материала в пограничную область наблюдается ускорение деградации, что затрудняет использование диагностических значений при прогнозировании.

Однако все рассмотренные работы описывают процесс, требующий значительных ресурсов, что затруднительно для массовой первичной оценки жилого фонда.

На основании многовариантного сопоставления фактических сроков эксплуатации с установленными нормативными сроками службы с применением методов регрессионного анализа была выявлена устойчивая экспоненциальная зависимость между процентом физического износа и долей оставшегося ресурса.

Полученная в результате статистической обработки эмпирических данных зависимость имеет следующий вид:

$$T_{\text{ост}} = T_{\text{н}} \cdot e^{\left(-k \frac{\text{Физ}}{100}\right)},$$

где $T_{\text{ост}}$ — расчетный остаточный срок службы, г.; $T_{\text{н}}$ — нормативный срок службы, г.; Физ — физический износ здания, %; k — параметр кривизны, определяющий скорость старения конструкций.

Представленная экспоненциальная модель прогнозирования остаточного срока службы зданий опирается на физические закономерности, отражающие поведение материалов при старении.

Начальные условия соответствуют моменту ввода объекта в эксплуатацию, когда износ отсутствует и ресурс равен нормативному.

Указанное положение согласуется с требованиями СП 255.1325800.2016, где отмечено, что расчетный срок службы формируется на стадии проектирования и должен обеспечиваться на протяжении всего периода эксплуатации⁴.

⁴ СП 255.1325800.2016. Здания и сооружения. Правила эксплуатации. Основные положения. М. : Стандартинформ, 2017. 30 с.

На этапе небольших значений физического износа, обычно до 20...30 %, изменение состояния конструкции развивается медленно.

В этот период зависимость между износом и оставшимся ресурсом близка к линейной. Исследования показывают, что на указанной стадии процессы деградации протекают равномерно и не приводят к ускоренному снижению прочности [10—13].

По мере накопления дефектов наступает фаза ускоренной деградации. Достижение критических уровней деформаций сопровождается активным развитием повреждений и усталостных явлений. Замедление или остановка процессов разрушения на данном этапе практически недостижима и не приводит к восстановлению ресурса [14].

При малых значениях износа предлагаемая модель близка к линейной, что отражает нормальную эксплуатацию в начале жизненного цикла (рис. 2).

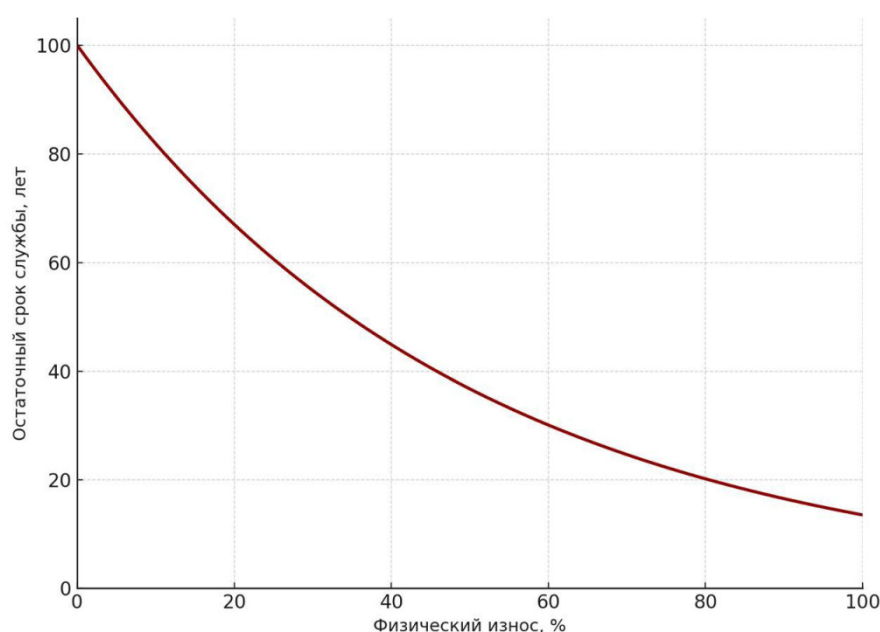


Рис. 2. Экспоненциальная зависимость остаточного срока службы от физического износа по предлагаемой модели

По мере роста износа снижение остаточного ресурса происходит ускоренно, что соответствует реальному поведению строительных материалов, ускоренному развитию дефектов, коррозии, усталости и другим процессам деградации.

С целью подтверждения работоспособности модели проведена оценка физического износа здания по нормативным методикам из ВСН 53-86(р), путем визуального обследования здания по адресу: г. Волгоград, ул. Циолковского, 28. В качестве нормативного срока службы здания, исходя из положений СП 255.1325800.2016, взято значение 100 лет.

По результату визуального обследования физический износ здания составил 21 % за период эксплуатации, по результатам чего построен график на рис. 2.

Ключевой параметр модели k , характеризующий интенсивность старения строительных конструкций, определяется статистическими методами на основе ретроспективных данных эксплуатации для конкретного типа здания или конструктивной системы [15]. Для его вычисления применяется регрессионный анализ фактических показателей износа объектов-аналогов с известной продолжительностью эксплуатации.

Особенностью модели является возможность учета восстановительных мероприятий. При проведении капитальных ремонтов, существенно влияющих на техническое состояние конструкций, происходит смещение расчетной кривой вдоль оси времени, что отражает частичное восстановление ресурса здания. Однако проведение ремонтов не отменяет основной экспоненциальной зависимости, а лишь переносит точку отсчета на общую кривую старения, формируя новый цикл эксплуатации объекта.

В процессе обсуждения предложенной модели закономерно возникает вопрос о целесообразности ее разработки в условиях существования аппроксимированных графиков и таблиц из нормативного документа ВСН 53-86(р). Следует отметить, что методика, представленная в ВСН, обладает существенным методологическим ограничением: она предлагает дискретные, эмпирические значения уровней износа, установленные преимущественно на основе экспертных оценок и визуальных признаков (ВСН 53-86(р); СП 255.1325800.2016). Данный подход фиксирует состояние объекта на момент обследования, но не раскрывает функциональную связь между накопленным износом и остаточным ресурсом, что делает невозможным построение динамического прогноза.

Выводы

В отличие от табличного метода ВСН, предложенная в данном исследовании зависимость обеспечивает принципиально иной уровень анализа. Она не противоречит исходным эмпирическим данным, заложенным в нормативном документе, но выполняет их математическую формализацию, представляя дискретные значения в виде непрерывной аналитической функции. Данный переход от табличного описания к функциональной модели обладает рядом существенных преимуществ.

Во-первых, непрерывная функция позволяет рассчитывать остаточный срок службы для любого, а не только для табличного, значения износа, что повышает точность и гибкость оценки.

Во-вторых, аналитическая зависимость становится удобным инструментом для автоматизации расчетов в системах мониторинга технического состояния зданий и специализированном программном обеспечении.

В-третьих, формализованный вид зависимости открывает возможности для проведения параметрического анализа, изучения чувствительности модели и оптимизации планирования ремонтных мероприятий на основе прогнозных данных, выходящих за рамки возможностей традиционных табличных методов.

Основное теоретическое значение работы состоит в установлении аналитической связи между качественными параметрами технического состояния, определяемыми при визуальном обследовании, и количественными показателями прогнозируемого ресурса.

Предложенная модель может быть эффективно использована при массовых обследованиях жилищного фонда для формирования программ капитального ремонта и реновации. Важным преимуществом методики является ее доступность для применения силами эксплуатационных служб без привлечения высококвалифицированных специалистов и проведения дорогостоящих инструментальных испытаний.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Исследование проблемы определения точного показателя физического износа здания / В. Н. Новикова, Е. С. Бурдуковский, П. А. Арашкеев, К. А. Филиппева, С. А. Колесников // Инженер. вестн. Дона. 2020. № 1. С. 10—15.
2. *Masters L. W., Brandt E.* Prediction of service life of building materials and components // *Materials and Structures*. 1987. Vol. 20. Iss. 1. Pp. 55—77. DOI: 10.1007/BF02472728.
3. *Omoare A., Arum C., Olanitori L. M.* Models for the prediction of service life of buildings — a review // *LAUTECH Journal of Civil and Environmental Studies*. 2022. Vol. 9. No. 1. Pp. 48—57.
4. Review of research on prediction models for residual life of concrete structures / L. Qi, X. Peng, Q. Yang, K. Xia, B. Xu // *Coatings*. 2025. Vol. 15. Iss. 6. Art. 693. DOI: 10.3390/coatings15060693.
5. *Cole I., Corrigan P.* Predicting the service life of buildings and components // *Proceedings of the Institution of Civil Engineers — Construction Materials*. 2011. Vol. 164. Iss. 6. Pp. 305—314. DOI: 10.1680/coma.2011.164.6.305.
6. Causal effects between criteria that establish the end of service life of buildings and components / A. Silva, J. de Brito, A. F. Thomsen et al. // *Buildings*. 2022. Vol. 12. Iss. 2. Art. 88. DOI: 10.3390/buildings12020088.
7. *Otrosh Y., Kovalov A., Semkiv O., Rudeshko I.* Methodology remaining lifetime determination of the building structures // *MATEC Web of Conferences*. 2018. Vol. 230. Art. 02023. DOI: 10.1051/mateconf/201823002023.
8. *Гнам П. А.* Анализ методик технического обследования объектов с целью определения их физического износа // *Alfabuild*. 2019. № 4(11). С. 7—21.
9. *Драпалюк Д. А.* Мониторинг состояния жилого фонда и его физический износ, проведение обследований строительных материалов и конструкций : учеб.-метод. пособие. Воронеж : Воронежский ГАСУ, 2013. 82 с.
10. *De Brito J., Silva A.* Life cycle prediction and maintenance of buildings // *Buildings*. 2020. Editorial material. 2020. June.
11. *Cabral M., Loureiro D., Amado C., Covas D.* Deterioration models and service life prediction of vertical assets of urban water systems // *Water Resources Research*. 2024. Apr. DOI: 10.1029/2023WR034854.
12. *Tavakoli R., Najafi M., Sharifara A.* Artificial neural networks and adaptive neuro-fuzzy models for prediction of remaining useful life // *arXiv:1909.02115*. 2019. DOI: 10.48550/arXiv.1909.02115.
13. Synthesis of service life prediction for bridges in Texas / L. Gao, Y.-L. Mo, S. Dhonde, D. Saldarriaga, L. Song, A. Senouci // *arXiv:2509.16208*. 2025. DOI: 10.48550/arXiv.2509.16208.
14. *Шкуланов Е. И., Кореновский А. М.* Физический износ гидротехнических сооружений: его сущность и расчет // *Пути повышения эффективности орошаемого земледелия : сб. науч. тр.* 2014. № 55. С. 153—160.
15. *Корольков Д. И.* Оценка остаточного ресурса строительных конструкций : моногр. СПб. : СПбГАСУ, 2020. 168 с.

© Белоусова П. А., Тибиркова А. А., Рисунов А. Р., Карпушко Е. Н., Жигульский С. А., 2026

Поступила в редакцию
15.01.2026

Ссылка для цитирования:

Прогнозирование остаточного срока службы зданий на основе выявленной зависимости от показателя физического износа / П. А. Белоусова, А. А. Тибиркова, А. Р. Рисунев, Е. Н. Карпушко, С. А. Жигульский // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2026. Вып. 1(102). С. 6—13. DOI: 10.35211/18154360_2026_1_6.

Об авторах:

Белоусова Полина Артемовна — студентка, Волгоградский государственный технический университет (ВолГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1; polindoss2005@mail.ru

Тибиркова Анастасия Алексеевна — студентка, Волгоградский государственный технический университет (ВолГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1; Anastasia.tibirkova@yandex.ru

Рисунев Андрей Романович — ассистент каф. экспертизы и эксплуатации объектов недвижимости, Волгоградский государственный технический университет (ВолГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1; andrey.risunov@mail.ru

Карпушко Елена Николаевна — канд. экон. наук, доц. каф. экспертизы и эксплуатации объектов недвижимости, Волгоградский государственный технический университет (ВолГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1; eun.cafedra@yandex.ru

Жигульский Станислав Александрович — магистрант каф. экспертизы и эксплуатации объектов недвижимости, Волгоградский государственный технический университет (ВолГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1; eun.cafedra@yandex.ru

**Polina A. Belousova, Anastasiya A. Tibirkova, Andrey R. Risunov,
Elena N. Karpushko, Stanislav A. Zhigulsky**

Volgograd State Technical University

**PREDICTION OF THE REMAINING SERVICE LIFE OF BUILDINGS
BASED ON THE IDENTIFIED RELATIONSHIP
WITH THE PHYSICAL DETERIORATION INDICATOR**

The article addresses the problem of predicting the remaining service life of buildings using the indicator of physical deterioration. The analysis reveals the limitations of existing regulatory methods that allow determining the current level of deterioration but do not provide a framework for quantitative forecasting of the remaining operational resource. An exponential mathematical model is proposed to establish a functional relationship between physical deterioration and the remaining service life. The introduced dependence enables a transition from qualitative assessment to quantitative prediction and can be used for rapid diagnostic evaluation of buildings.

Key words: remaining service life, physical deterioration, forecasting, exponential model, technical condition of buildings, diagnostics, operation.

For citation:

Belousova P. A., Tibirkova A. A., Risunov A. R., Karpushko E. N., Zhigulsky S. A. [Prediction of the remaining service life of buildings based on the identified relationship with the physical deterioration indicator]. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya: Stroitel'stvo i arhitektura* [Bulletin of Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering. Series: Civil Engineering and Architecture], 2026, iss. 1, pp. 6—13. DOI: 10.35211/18154360_2026_1_6.

About authors:

Polina A. Belousova — Student, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; polindoss2005@mail.ru

Anastasiya A. Tibirkova — Student, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; Anastasia.tibirkova@yandex.ru

Andrey R. Risunov — Assistant, Volgograd State Technical University (VSTU).
1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; ndrey.risunov@mail.ru

Elena N. Karpushko — Candidate of Economics, Volgograd State Technical University (VSTU).
1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; eun.cafedra@yandex.ru

Stanislav A. Zhigulsky — Master's Degree student, Volgograd State Technical University (VSTU).
1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; eun.cafedra@yandex.ru