

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

2023, Том 15, № 6 / 2023, Vol. 15, Iss. 6 <https://esj.today/issue-6-2023.html>

URL статьи: <https://esj.today/PDF/111SAVN623.pdf>

2.1.14. Управление жизненным циклом объектов строительства (технические науки)

Ссылка для цитирования этой статьи:

Строкова, В. В. Совершенствование методики цифровой оценки физического износа плоских рулонных кровель / В. В. Строкова, Р. В. Лесовик, А. Е. Наумов, А. В. Долженко, А. С. Шандрикова // Вестник евразийской науки. — 2023. — Т. 15. — № 6. — URL: <https://esj.today/PDF/111SAVN623.pdf>

For citation:

Strokova V.V., Lesovik R.V., Naumov A.E., Dolzhenko A.V., Shandrikova A.S. Enhancement of physical deterioration digital assessment in flat roofs. *The Eurasian Scientific Journal*. 2023; 15(6): 111SAVN623. Available at: <https://esj.today/PDF/111SAVN623.pdf>. (In Russ., abstract in Eng.)

УДК 69:004

Строкова Валерия Валерьевна

ФГБОУ ВО «Белгородский государственный технологический университет имени В.Г. Шухова», Белгород, Россия
Заведующая кафедрой «Материаловедения и технологии материалов»
Доктор технических наук, профессор
E-mail: vvstrokova@gmail.com

Лесовик Руслан Валерьевич

ФГБОУ ВО «Белгородский государственный технологический университет имени В.Г. Шухова», Белгород, Россия
Проректор по международной деятельности
Доктор технических наук, профессор
E-mail: ruslan_lesovik@mail.ru

Наумов Андрей Евгеньевич

ФГБОУ ВО «Белгородский государственный технологический университет имени В.Г. Шухова», Белгород, Россия
Заведующий кафедрой «Экспертизы и управления недвижимостью»
Кандидат технических наук, доцент
E-mail: kafeun@mail.ru

Долженко Александр Валериевич

ФГБОУ ВО «Белгородский государственный технологический университет имени В.Г. Шухова», Белгород, Россия
Старший преподаватель кафедры «Экспертизы и управления недвижимостью»
E-mail: da7182@mail.ru

Шандрикова Алина Сергеевна

ФГБОУ ВО «Белгородский государственный технологический университет имени В.Г. Шухова», Белгород, Россия
Магистрант кафедры «Экспертизы и управления недвижимостью»
E-mail: shandrikova.a@yandex.ru

Совершенствование методики цифровой оценки физического износа плоских рулонных кровель

Аннотация. В работе представлены направления совершенствования инструментария оценки физического износа плоских рулонных кровель при производстве цифровой экспертизы здания и его информационном моделировании для эффективного управления жизненным циклом объекта строительства. Представлено факторное пространство получения частных и алгоритмизация интеграции в общую оценок дефектоемкости кровель по единичным площадкам, используемую в управлении жизненным циклом плоской рулонной кровли при оценке прогнозируемого срока безопасной эксплуатации здания и анализе эффективности

альтернативных вариантов технических мероприятий по устранению дефектов кровли. Предложено совершенствование нормативной методики оценки физического износа на основании учета фактического взаимного влияния устанавливаемых экспертизой дефектов на техническое состояние кровли, выполнен анализ применимости инструментов оценки согласованности суждений при верификации оценки влияния, выполняемой методом анализа иерархий (МАИ). Предложено рациональное направление организации оценки влияния дефектов в матричной среде МАИ, представлены величины неизбежной погрешности оценки согласованности суждений при его использовании, даны рекомендации по рациональной организации процесса попарной оценки. Рассмотрены направления совершенствования модели жизненного цикла плоской рулонной кровли в части диагностики и документирования подефектных долей физического износа кровли и периодической корректировки удельных весов влияния дефектов исходя из наблюдаемого их фактического развития в условиях конкретного технического решения кровли и здания. Представленные направления позволят количественно установить и прогнозировать перспективную динамику деградации технического состояния плоской рулонной кровли, являющуюся основой эффективного управления ее жизненным циклом с позиции минимальной стоимости владения объектом строительства.

Ключевые слова: управление жизненным циклом объекта строительства; информационное моделирование зданий; плоские рулонные кровли; дефект; физический износ; строительно-техническая экспертиза; техническая эксплуатация здания

Введение

Плоские рулонные кровли являются наиболее распространенным конструктивным решением в многоэтажном строительстве [1]. Их основным преимуществом перед прочими видами малоуклонных кровель является относительная ресурсоэффективность, технологическая простота, высокая ремонтпригодность при возможности существенного продления срока эксплуатации за счет своевременного технического обслуживания.

Однако, плоские рулонные кровли отличаются и повышенной дефектоемкостью, характеризующейся большим количеством факторов возникновения и разнообразием дефектов. К источникам возникновения дефектов плоских кровель следует отнести недостатки изготовления рулонного материала, ошибки монтажа, механические повреждения, температурные и влажностные воздействия, старение и др., а к характерным визуально определяемым дефектам — вздутия, образования зон застоя воды, растрескивание верхнего слоя, сквозные трещины и пробоины, отрывы и сползание рулонного ковра, складки, биологическое повреждение и пр. [2].

Основные дефекты плоских рулонных кровель существенно различаются по масштабам развития, характеру влияния на строительную систему, динамике развития и технологиям оценки, качественной и количественной интерпретации результатов в управлении жизненным циклом строительной системы и всего здания в целом [3]. Процесс детектирования дефектов многоделен и трудоемок, выполняется строительным экспертом визуально и инструментально в процессе строительно-технической экспертизы с использованием измерительного инструмента, а его результат весьма субъективен, часто малоинформативен, трудноповторяем и труднопроверяем, что затрудняет проведение динамического анализа развития дефекта, эффективного моделирования его жизненного цикла, а также прогнозирования его дальнейшего развития с целью принятия своевременных управленческих решений на жизненном цикле здания. При всем многообразии инструментов и методов идентификации, описания и характеристик дефектов плоских рулонных кровель остаются малоизучены

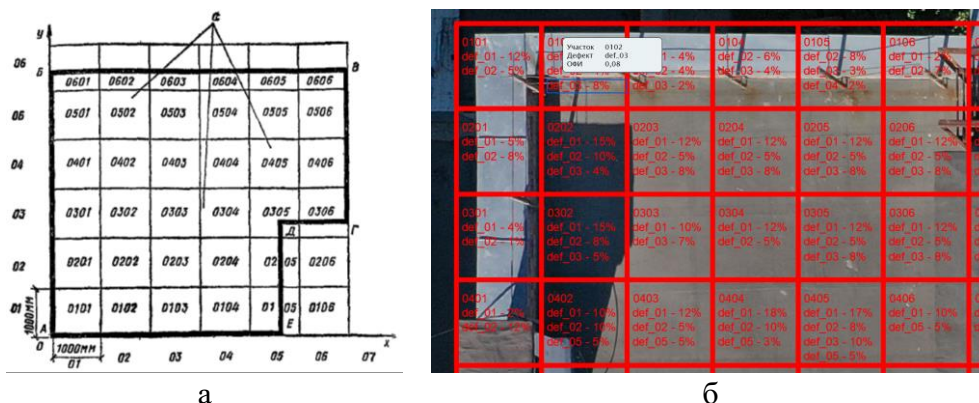
вопросы их весомости и взаимного влияния. Низкая достоверность, а зачастую и отсутствие методик прогнозирования развития дефектов кровли не позволяют в полной степени предлагать и реализовать достоверные количественные методики оценки и прогнозирования физического износа всей плоской рулонной кровли на эксплуатационной стадии её жизненного цикла.

Принятым в практике технической эксплуатации зданий методикой оценки физического износа зданий и их конструктивных элементов является нормативная методика [4] с использованием логистической функции, зависящей от прогнозируемой продолжительности срока службы системы и устанавливаемого экспертным методом физического износа. Нормативная методика, обладая общностью, универсальностью, простотой содержит ряд существенных недостатков, снижающих достоверность результатов и эффективность практической деятельности строительного эксперта: субъективность, при которой физический износ кровельных систем определяется в формате общих универсальных оценочных категорий и на всем пространстве текущих и потенциальных дефектов одновременно.

С другой стороны, объектом исследования по предлагаемой методике является все кровельная система в целом, что как препятствует локализации объекта исследования при неоднородном распределении дефектов, характерных для реальных кровель, так и определяет высокую трудоемкость проводимых исследований. Это обстоятельство в условиях лимитированных затрат на проведение экспертиз, характерных для большинства эксплуатируемых строительных систем, снижает периодичность, качество и основанную на этом достоверность обследования, а также отдаляет предполагаемые результаты прогнозирования физического износа от фактически наблюдаемого состояния строительной системы на горизонте управления ее жизненным циклом.

Методы

В процессе проведения обследования плоской рулонной кровли строительный эксперт проводит фотофиксацию выявленных дефектов, составляет дефектную ведомость и карту (схему) дефектов. Отдельные нормативные документы рекомендуют вносить в карту дефектов данные о количестве выявленных дефектов и процентном соотношении площади выявленных дефектов с площадью неповрежденных участков кровли (пример типовой карты дефектов приведен на рис. 1 а).



А–Е — границы контуров обследуемой кровли; 0101-0606 — шифр квадрата, def_{nn} — идентификационный номер дефекта, записанный с учетом его иерархической классификации, n% — количественная оценка площади распространения дефекта относительно площади исследуемого квадрата

Рисунок 1. Пример карты дефектов, выполненной по рекомендациям действующей нормативной документации (а) и по предлагаемой методике с использованием беспилотных летательных аппаратов и нейросетевого алгоритма (б) (разработано авторами)

Устранить недостатки нормативной методики оценки физического износа зданий авторами предлагалось ранее путем совершенствования аппаратно-программных и аналитических технологий производства строительной дефектоскопии плоских рулонных кровель, включающих реализацию нейросетевых технологий инструментальной оценки физического износа [5; 6] и подходов к моделированию жизненного цикла строительной системы декомпозицией проводимых обследовательских работ дифференцированно по исследуемым дефектам в масштабе единичных фрагментов кровли, равномерно распределенных по ее площади с заданной достоверностью обследования и частотой (рис. 1 б).

При моделировании жизненного цикла плоской рулонной кровли возникает необходимость в приведении частных оценок по дефектам и единичным площадкам к интегральной, включаемой в оценку прогнозируемого срока службы здания и анализ эффективности альтернативных вариантов технических мероприятий по устранению дефектов.

С учетом существенного отличия дефектов по используемым технологиям инструментальной оценки и аналитической интерпретации авторами предлагается для сверстки частных оценок в общую использовать метод анализа иерархий (МАИ, АНР), традиционно используемый в инженерной практике для количественного сравнения альтернативных технических и управленческих решений в условиях поликритериальной вариативности [7].

Результаты

При поликритериальной оценке управленческих альтернатив МАИ используется шкала сравнительной важности переменной бальности, динамически устанавливаемой в соответствии с ощущаемым экспертом диапазоном качественных состояний дефекта, определяемых инструментальными и визуальными признаками. Сами дефекты оцениваются по каждому из выбранных показателей оценки организацией формализованного попарного сравнения в матричном поле размерностью, равной количеству учитываемых дефектов.

Традиционно, в методе анализа иерархий используется 9-бальная шкала сравнительной оценки качества, предложенная автором метода Т. Саати [8], количественно интерпретирующая психологические особенности качественного восприятия сравниваемых величин лицом, принимающим решение, установленным законом Вебера-Фехнера [9]. В большинстве сравниваемых технических процессов и явлений пороговая чувствительность, воспринимаемого лицом, принимающим решения градиента качества, составляет не более 10 %, что соответствует, в целом, девятибальной (полной) шкале сравнительной значимости. В то же время пороговая чувствительность, в большинстве реальных практических случаев строительной дефектоскопии существенно меньше оценочных диапазонов, установленных как в нормативных методиках оценки дефектов, так и регламентами процедур визуального обследования. Существенный потенциал увеличения остроты восприятия качества дефекта совершенствованными инструментальными методами до сих пор не находит должного отражения ни в практике, ни в проектах перспективных методик строительной экспертной деятельности.

Рациональная шкала оценки сравнительной значимости в технических экспертизах, таким образом, ограничивается точностью нормативных методик, практически достижимой точностью существующих методов визуального обследования и регламентами эксплуатации аппаратно-программного обеспечения строительной дефектоскопии. Возникает необходимость в исследовании и количественной оценке рациональности высокой бальности шкалы оценок, реализуемых совершенствуемыми аппаратно-программными инструментами, но, предположительно, невостребованными инструментами обработки результатов изысканий

вида $CIR = \frac{A}{MS \times B} + C$ ($A, B, C = \text{const}$) выполнена интерполяция табличных значений, продемонстрировавшая сходимость с точностью менее 1 %, заведомо превышающую практически необходимую (рис. 3).

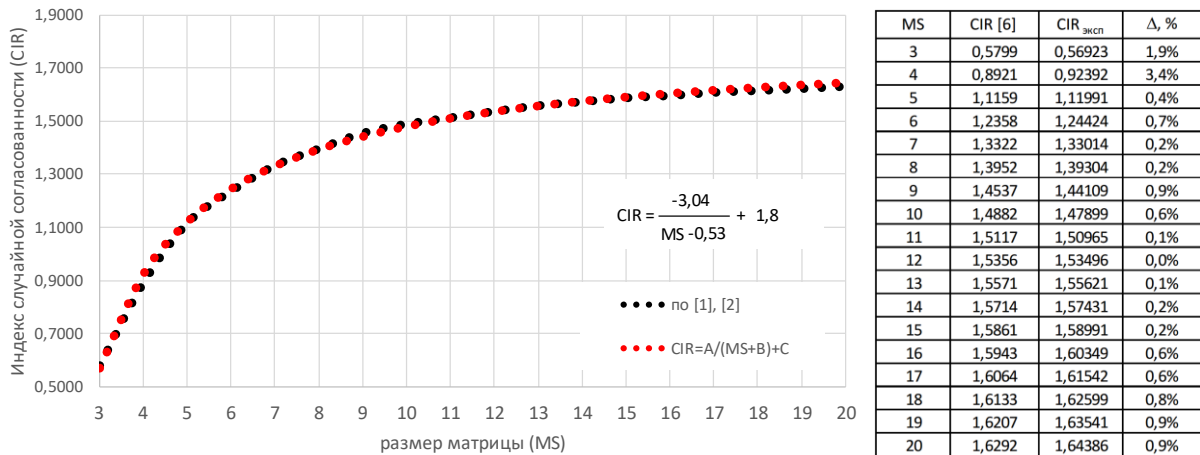


Рисунок 3. Интерполяция степенной функцией зависимости случайной согласованности суждений (CIR) от размера матрицы попарных оценок (MS) [8]

Использованная аналитическая зависимость применялась в экспериментальном пространстве для анализа погрешности оценки согласованности (ПОС) парных суждений метода анализа иерархий методом случайной согласованности (Consistency Index, CI) в диапазоне варьируемых размера матрицы и бальности шкалы. Анализировались оценки согласованности Consistency Rate (CR), определяемые отношением CI/CIR , рекомендуемым на практически согласованных суждениях величиной не более 10 %. Установленные зависимости размера ПОС парных суждений оценивались как среднераспределенные ложные оценки приемлемой согласованности в объеме 1 000 матриц, сформированных по каждому из размеров и баллов случайным образом с заведомой несогласованностью. Распределение погрешности по размерам матрицы и балам оценки представлены на рисунке 4.

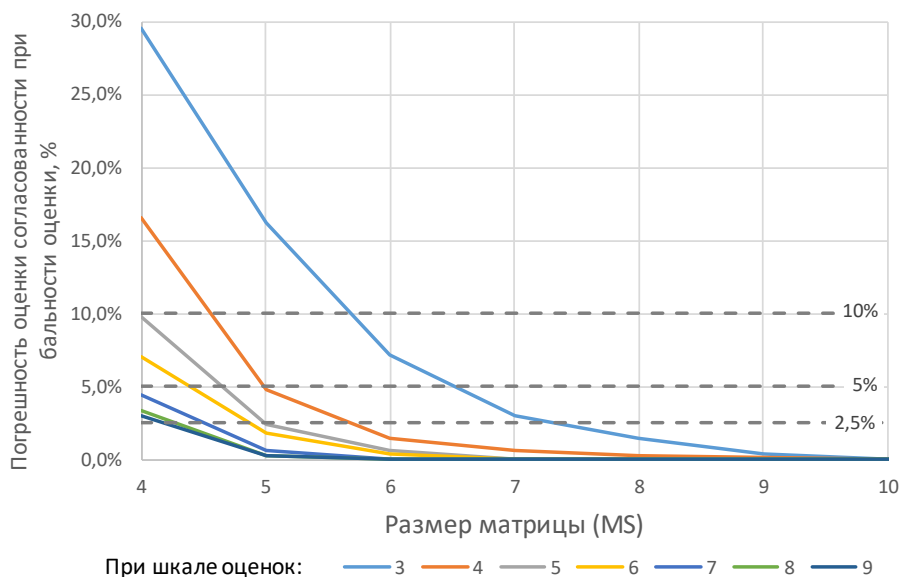


Рисунок 4. Погрешность оценки согласованности парных суждений МАИ методом случайной согласованности для MS 4×4 ... 10×10 при 3–9 балльных шкалах оценки (разработано авторами).

Обсуждение

Проведенные исследования позволили дать следующие рекомендации к использованию метода анализа иерархий при уровне ПОС 5 %:

- для матриц малых размерностей (4×4, 5×5) приемлемый уровень ПОС достигается при использовании 5-бальной шкалы;
- для матриц средних размерностей (до 7×7 включительно) приемлемый уровень ПОС достигается при использовании 4-бальной шкалы;
- для матриц высоких размерностей (8×8 и более) бальность шкалы не влияет на уровень ПОС;
- от использования матриц 3×3 следует, по возможности, отказываться, поскольку ни одна из бальных систем не дает приемлемого уровня ПОС.

Нелинейная динамика прироста погрешности на каждый балл упрощения шкалы позволяет определить целесообразную бальность 5 при приемлемом уровне ПОС до 10 %. Таким образом, рассмотренные в работе практические вопросы, создающие ряд организационно-математических сложностей использования метода анализа иерархий в классической постановке, могут быть эффективно решены использованием упрощенных процедур верификации согласованности оценок и рационализации применяемой шкалы сравнительной важности, что позволяет полнее использовать прикладной потенциал метода и активнее внедрять его в аналитическую практику.

С учетом взаимной значимости дефектов, обоснованно устанавливаемой экспертом верифицированным методом анализа иерархий, предлагается следующее усовершенствование нормативной формулы оценки физического износа плоской рулонной кровли на эксплуатационном этапе жизненного цикла [2]:

$$\text{ЖЦ} = \sum_{i=1}^n k_i \times \gamma_i,$$

где n — число дефектов; i — номер текущего дефекта; γ_i — удельный вес влияния (влиятельность) i -го дефекта на техническое состояние и состояние функционального соответствия, устанавливаемый МАИ в каждом конкретном случае / серии случаев применения для определенного технического решения кровли; k_i — физический износ кровли от i -го дефекта с учетом доли его распространения на площади всей кровли.

Направлением дальнейшего использования совершенствованной учетом фактической взаимной значимости дефектов методики оценки физического износа плоской рулонной кровли становится внесение и периодическая актуализация оценок в информационной модели здания в части, используемой в цифровой эксплуатации кровельной системы. Актуализация модели в части подефектных долей физического износа кровли (k_i) и периодическая корректировка удельных весов влияния дефектов исходя из наблюдаемого их фактического развития в условиях конкретного технического решения кровли и здания позволит количественно установить и прогнозировать перспективную динамику деградации технического состояния плоской рулонной кровли, являющуюся основой эффективного управления ее жизненным циклом с позиции минимальной стоимости владения объектом строительства.

ЛИТЕРАТУРА

1. Сысоев, А.К. О причинах преждевременного разрушения кровель из полимерных мембран / А.К. Сысоев, Е.А. Жолобова, А.Л. Жолобов // Инженерный вестник Дона. — 2021. — № 5(77). — С. 81–87. — EDN YPOLJX.

2. Долженко А.В., Наумов А.Е., Щенятский О.А. Повышение качества управления жизненным циклом плоских рулонных кровель совершенствованием инструментов оценки их физического износа // Вестник БГТУ имени В.Г. Шухова. 2023. — № 6. — С. 48–54. — DOI: 10.34031/2071-7318-2023-8-6-48-54.
3. Зельманович, Я.И. Состояние рынка мягких кровельных и гидроизоляционных материалов в России в 2009–2010 гг. / Я.И. Зельманович // Строительные материалы. — 2011. — № 3. — С. 63–67. — EDN NQUARD.
4. Э.Ш. Шифрина, С.Н. Нотенко Правила оценки физического износа жилых зданий. // Академией коммунального хозяйства имени К.Д. Памфилова Минжилкомхоза РСФСР, М.: 1988. — URL: <https://media.lidermsk.ru/documents/be0e12ebbd94ef39ce7b262f997d5290.pdf>.
5. Интеллектуализация технологических процессов строительно-технической экспертизы / А.Е. Наумов, Д.А. Юдин, А.В. Долженко [и др.] // Вестник БГТУ имени В.Г. Шухова. 2022. — № 12. — С. 28–38. — DOI 10.34031/2071-7318-2022-7-12-28-38. — EDN WZDBER.
6. Software for roof defects recognition on aerial photographs. Yudin D., Naumov A., Dolzhenko A., Patrakova E. / В сборнике: Journal of Physics: Conference Series — 2018 — 1015(3) — 032152, SCOPUS Q3, SJR 0.24.
7. Наумов, А.Е. Рациональное целеполагание в планировании градостроительной политики на основе метода анализа иерархий / А.Е. Наумов, М.А. Щенятская, А.В. Шарাপова // Недвижимость: экономика, управление. 2017. — № 2. — С. 47–50. — EDN ZX LZJV.
8. Саати, Т.Л. Принятие решений. Метод анализа иерархий. М.: Радио и связь, 1993. — 278 с.
9. Основы психофизиологии / Отв. ред. Ю.И. Александров. М.: ИНФРА-М, 1997. 349 с.
10. Vargas, R. Using the Analytic Hierarchy Process (AHP) to Select and Prioritize Projects in a Portfolio / Russian Project Management Conference (Русская конференция Управление проектами). Moscow — 2010. — URL: <https://rvarg.as/2y/>.

Strokova Valeriya Valerievna

Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov, Belgorod, Russia
E-mail: vvstrokova@gmail.com

Lesovik Ruslan Valerievich

Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov, Belgorod, Russia
E-mail: ruslan_lesovik@mail.ru

Naumov Andrey Evgenevich

Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov, Belgorod, Russia
E-mail: kafeun@mail.ru

Dolzhenko Alezandr Valerievich

Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov, Belgorod, Russia
E-mail: da7182@mail.ru

Shandrikova Alina Sergeevna

Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov, Belgorod, Russia
E-mail: shandrikova.a@yandex.ru

Enhancement of physical deterioration digital assessment in flat roofs

Abstract. The paper presents directions for improving the tools for assessing physical deterioration digital assessment of flat roll roofs of a building and its information modeling for effective management of the life cycle of a construction project. The factor media for obtaining unique assessments per unit places and algorithmic for integration it into the general assessment of the defect capacity of roofs, used in managing the life cycle of a flat roll roof when assessing the predicted life of safe operation of a building and analyzing the effectiveness of alternative options for technical measures to eliminate roof defects, is presented. The improvement of the normative methodology for assessing physical wear and tear is proposed based on taking into account the actual influence of defects established by the examination on the technical condition of the roof, and an analysis of the applicability of tools for assessing the consistency of pairwise comparisons in verifying the impact assessment performed by the analytic hierarchy process (AHP) has been carried out. A rational direction for organizing the assessment of the influence of defects in the matrix environment of the AHP is proposed, and estimates of the inevitable error in assessing the consistency of pairwise comparisons when using it are presented. The directions for improving the life cycle model of a flat roll roof are considered in terms of diagnosing and documenting defects in physical deterioration of the roof with periodically adjusting the specific weights of defects based on their observed actual propagation in the frames of a specific technical solution of the roof and building. The presented directions will make it possible to quantitatively establish and predict the long-term dynamics of degradation of the technical condition of a flat roll roof, which is the basis for the effective management of its life cycle from the point of view of the minimum cost of ownership of a construction project.

Keywords: building life cycle management; building information modelling; flat rolled roofs; building defect; physical deterioration; construction inspection; technical operation of buildings