

# АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИЙ ПРИМЕНИМЫХ В СИСТЕМЕ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ О ПРОВЕДЕНИИ КОСМЕТИЧЕСКОГО РЕМОНТА ЗДАНИЯ

## ANALYSIS OF TECHNOLOGIES APPLICABLE IN THE DECISION-MAKING SYSTEM FOR CARRYING OUT COSMETIC REPAIRS OF A BUILDING

V. Kachalin  
A. Kalugin

*Summary.* In the modern world, there is a trend towards digitalization and automation of various spheres of human life. This development orientation makes it possible to facilitate both daily life and professional activities of a person. As part of decision-making, the introduction of appropriate technologies allows to give preference to the most relevant option based on the existing characteristics, conditions and limitations of a particular situation with minimal human involvement. However, this trend has not affected the field of cosmetic repairs of buildings. Although at the same time, this approach is able to reduce time and financial costs at the earliest stage of repair work or avoid them altogether. The purpose of this work is an analytical review of scientific research conducted in the world, the results of which can potentially be used to create an intelligent decision-making system for carrying out cosmetic repairs of a building. The article itself contains a list and a brief overview of dissertations for the degree of Candidate of Sciences, as well as scientific articles by Russian and foreign authors corresponding to the subject of this work. The analysis of scientific papers indicates the existing interest of scientists in the problem of finding technologies to improve the preliminary preparation for the cosmetic repairs of the building. From a practical point of view, the conducted analytical review of scientific works can be used as a starting point for rethinking the results of the scientific research discussed in this article from the point of view of their application in the design of an intelligent decision-making system for carrying out cosmetic repairs of a building.

*Keywords:* decision-making system, repair, technology, scientific research, analytical review, building.

**Качалин Василий Сергеевич**

ведущий программист, аспирант,  
Федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение высшего образования  
«Московский авиационный институт  
(национальный исследовательский университет)»  
vasiliy.kachalin@gmail.com

**Калугин Алексей Владимирович**

старший преподаватель,  
Федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение высшего образования  
«Московский авиационный институт  
(национальный исследовательский университет)»

*Аннотация.* В современном мире существует тенденция к цифровизации и автоматизации различных сфер жизни человека. Данная направленность развития позволяет облегчить как повседневную жизнь, так и профессиональную деятельность человека. В рамках принятия решений внедрение соответствующих технологий позволяет отдавать предпочтение наиболее релевантному варианту исходя из имеющихся особенностей, условий и ограничений конкретной ситуации с минимальным вовлечением человека. Однако данная тенденция не затронула область косметических ремонтов зданий. Хотя при этом такой подход способен обеспечить снижение временных и финансовых издержек на самом раннем этапе ремонтных работ или же вовсе избежать их. Целью данной работы является аналитический обзор научных исследований, проведенных в мире, результаты которых потенциально могут быть использованы для создания интеллектуальной системы принятия решения о проведении косметического ремонта здания. В самой статье представлен список и краткий обзор диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, а также научных статей отечественных и зарубежных авторов, соответствующих тематике данной работы. Проведенный анализ научных работ свидетельствует о существующем интересе ученых к проблеме поиска технологий для улучшения предварительной подготовки к проведению косметического ремонта здания. С практической точки зрения проведенный аналитический обзор научных работ может быть использован как отправная точка для переосмысления результатов затронутых в данной статье научных исследований с позиции их применения при проектировании интеллектуальной системы принятия решения о проведении косметического ремонта здания.

*Ключевые слова:* система принятия решений, ремонт, технологии, научные исследования, аналитический обзор, здания.

### Введение

Принятие решения о проведении косметического ремонта здания весьма трудоемкий процесс. В нем требуется учитывать различные ресурсы: финансовые, трудовые, временные и др. В идеале максимально точный размер вложений должен быть известен

заранее, что позволит принять релевантное решение о необходимости начала работ по проведению косметического ремонта и его результативности. Также с помощью использования достижений научного сообщества можно снизить влияние сопутствующих расходов на итоговую стоимость проекта по ремонту.

Необходимость в минимизации затрат на этапе принятия решения о проведении косметического ремонта здания и непосредственно обеспечение принятия релевантного решения сталкивается с отсутствием системы принятия решений (СПР) по затрагиваемому вопросу, соответственно исходя из этого *целью данной работы* является проведение аналитического обзора научных исследований, проведенных в мире, результаты которых могут быть использованы в СПР о проведении косметического ремонта здания.

В качестве источников данных для данной статьи были использованы следующие ресурсы: библиографическая и реферативная база данных Scopus, поисковая система среди научных работ Google Scholar, научные электронные библиотеки КиберЛенинка и eLibrary.ru, а также научная электронная библиотека диссертаций и авторефератов disserCat.

Структура данной работы имеет следующий вид: в первом разделе рассмотрены результаты исследований зарубежных авторов, во втором разделе представлены результаты исследований отечественных авторов, в третьем — результаты, отраженные в диссертациях на соискание ученой степени кандидата технических наук отечественных исследователей.

#### Аналитический обзор зарубежных научных исследований

В научной среде рассматривается прогнозирование времени ремонта оборудования. Этот вопрос затрагивала группа ученых *Marwin Züfle, Joachim Agne, Johannes Grohmann, Ibrahim Dörtoluk, Samuel Kounev* в работе «*A Predictive Maintenance Methodology: Predicting the Time-to-Failure of Machines in Industry 4.0*». Авторы предлагают использовать методы машинного обучения на данных, полученных с установленных на оборудовании датчиков для прогнозирования времени до отказа [1]. Такой подход, при некоторой модернизации, может быть примененным при работе со зданиями. Вместе с тем, у него есть большой недостаток — использование датчиков, что может повлечь за собой определенные неудобства при посещении зданий.

Существует работа «*Application of back-propagation artificial neural network to predict maintenance costs and budget for university buildings*», авторы которой, *Chang Sian Li, Pei Jia Chen, Sy Jye Guo*, используют нейронную сеть для анализа данных о ремонте конкретного здания за 40-летний период, чтобы спрогнозировать затраты на его техническое обслуживание [2]. Способ, предложенный авторами, имеет большой недостаток, который препятствует повсеместному применению метода — использование исторических данных о ремонте. Данная особенность не позволяет использовать метод в случаях, когда отсутствует необходимая информация.

Стоимости ремонта касался *Yiqun Liu* в своей диссертации «*A forecasting model for maintenance and repair costs for office buildings*», в ней автор приводит модель для прогноза общих затрат на техническое обслуживание и ремонт офисных зданий. Помимо этого, автор выделил 6 факторов, оказывающих влияние на стоимость обслуживания и проведения ремонтов, и их вес. К этим факторам автор отнес: собственника объекта (государство или частное лицо), местоположение здания в черте города (центр или пригород), непосредственно город, возраст здания, площадь здания, высоту здания [3].

Временной аспект проведения ремонтов также был затронут в научных работах различных исследователей. Так, например, *Nahyun Kwon, Yong Han Ahn, Bo-Sik Son, Hyosoo Moon* в работе «*Developing a machine learning-based building repair time estimation model considering weight assigning methods*» разработали модель прогнозирования времени ремонта зданий с применением генетического алгоритма, множественного линейного регрессионного анализа, метода подсчета признаков и процесса нечетко-аналитической иерархии для рассуждений на основе прецедентов. При этом они отмечают некоторые недостатки модели: использовались данные полученные только лишь из одного источника; модель показывает примерное время работ, для более точного прогноза необходимо рассматривать каждый конкретный случай более подробно; в модели не учитываются внешние факторы, которые могут оказать влияние на фактическое время проведения ремонта, также не учитывается взаимосвязь между компонентами одного здания; предлагаемая модель разработана и проверена на основе жилого многоквартирного дома и исходя из этого модель может иметь ограниченную применимость к обслуживанию других типов зданий [4].

*Clara Pereira, Ana Silva, Jorge de Brito, José Dinis Silvestre* в своей научной работе «*Urgency of repair of building elements: Prediction and influencing factors in facade renders*» с помощью множественной линейной регрессии прогнозируют срочность ремонта дефектов оштукатуренных фасадов. В работе авторы использовали различные инструменты: методы описательной статистики, факторный анализ, кластерный анализ. Также авторы выделили 4 фактора, влияющих на принятие решения о срочности ремонта фасадов: первый фактор представляет собой окружающие условия и характеристики строительного элемента; второй фактор представляет собой возраст здания и окружающие агрессивные условия; третий фактор представляет характеристики деградации; четвертый фактор — толщина дефектов растрескивания. У метода присутствуют некоторые недостатки. Так, например, он может быть чувствителен к выбросам, искажающим результаты. Помимо этого, авторы указывают на необходимость увеличения выборки, чтобы повысить достоверность метода [5].

Ученые *Sojin Park, Nahyun Kwon, Yong Han Ahn* в работе «*Forecasting Repair Schedule for Building Components Based on Case-Based Reasoning and Fuzzy-ANP*» выполняют прогнозирование графика ремонта компонентов здания, а также предлагают модель на основе прецедентов для оценки времени, через которое потребуется первый ремонт после завершения строительства многоквартирного дома, даже на этапах, когда информации, связанной с техническим обслуживанием, недостаточно. Однако данная модель может иметь ограниченную применимость, поскольку ее оценка проводилась в общих чертах. Также авторы отмечают, что внешние условия, строительные материалы и технические характеристики компонентов не учитываются в предлагаемой модели. Помимо этого, отмечается, что средние абсолютные процентные ошибки модели в основном не превышают 20 % [6].

Исследователи *Said Abdel Hamid, Ahmed Nouh Meshref, Nael Yousry Zabel* в своей работе «*A model for prioritizing concrete structures repair works*» предложили модель износа железобетона для определения приоритетности ремонтных работ железобетонных конструкций. Также авторы выделили пять категорий факторов, которые в сочетании влияют на износ бетонных конструкций: проектировочные (например, конструкция фундамента), факторы конструкции (состав смеси), защитные (теплоизоляция), материальные (цемент), внешнего воздействия (химические вещества) [7].

*Bucoń R. и Sobotka A.* в своей работе «*Decision-making model for choosing residential building repair variants*» разработали модель принятия решения по выбору ремонта жилого дома из нескольких вариантов. Также они предложили алгоритм принятия решений, который состоит из пяти этапов: оценка состояния здания, оценка стоимости здания, классификация ремонта, рассмотрение нескольких вариантов ремонта, непосредственно выбор ремонта [8].

#### Аналитический обзор отечественных научных исследований

Темы, связанные с ремонтами, в своих научных трудах касались и отечественные исследователи. Так *Погодаев А.К., Корнеев А.Д., Маракушин М.В.* в своем научном труде «*Задача перспективного планирования ремонтно-восстановительных работ*» предложили свою собственную математическую модель, позволяющую прогнозировать физический износ жилого здания, для планирования ремонта жилого фонда с целью обеспечения контроля за их состоянием и повышения качества своевременных ремонтов с наименьшими затратами. Однако авторы отмечают, что применение модели на конкретном здании не даст результаты, которые были бы лучше экспертной оценки, при этом применение модели

имеет смысл при планировании ремонтно-восстановительных работ для большого числа жилых зданий [9].

Российские исследователи *Жижко И.Б. и Демьянов К.В.* в своей научной публикации «*Учет степени физического износа в механизме финансирования капитального ремонта жилых зданий на основе моделей прогнозирования*» предложили механизм финансирования капитального ремонта на основе собственной математической модели, которая позволяет прогнозировать размер предстоящих расходов на ремонтные работы жилищного фонда с различной степенью физического износа [10].

Интересное решение предложили *Белый В.С. и Адамушко Н.Н.* в своей научной статье «*Применение рядов Фурье для прогнозирования технического состояния здания*». В данной работе исследователи продемонстрировали возможность применения рядов Фурье при прогнозировании технического состояния здания и заключили, что при увеличении количества гармоник прогноз технического состояния здания становится более точным [11].

*Киевский И.Л. и Леонов В.В.* в работе «*Прогнозирование физического износа зданий*» предлагают свою собственную методику определения увеличения физического износа жилого фонда с течением времени. По результатам своей работы они пришли к выводу, что через конкретный промежуток времени для более новых зданий процент износа ниже, чем за аналогичный период для старых зданий [12].

Исследователи *Мищенко В.Я., Головинский П.А. и Драпалюк Д.А.* в статье «*Прогнозирование темпов износа жилого фонда на основе мониторинга дефектов строительных конструкций*» предложили методику разработки планов производства работ с учетом ограничений по ресурсам с использованием матрично-сетевой модели [13].

В своей работе «*Методика оценки риска при прогнозировании остаточного срока службы строительных конструкций*» *Шмелев Г.Д.* предложил методику оценки риска ошибок первого и второго рода при прогнозировании остаточного срока службы строительных конструкций [14].

В статье «*Применение методов статистической экстраполяции при планировании ремонтов зданий*» *Опарин Р.Ю.* предлагает методику, которая опирается на экстраполяцию статистических данных, которые получены в результате мониторинга состояния элементов здания [15].

В своей научной работе «*Применение цифрового двойника здания для прогнозирования эксплуатацион-*

ных затрат» Полупанова Ю.Р., Петроченко М.В. и Латухина А.И. предлагают использовать цифровой двойник здания на этапе эксплуатации, т.к. это, по утверждению авторов, должно обеспечить контроль за техническим состоянием и износом систем и конструкций, следование плану выполнения текущих и капитальных ремонтов, что в итоге приведет к снижению эксплуатационных расходов [16].

Ученые-исследователи Зайцев В.О. и Богданов А.Н. в своей статье «Мониторинг зданий в BIM-комплексах в период эксплуатации, капитального ремонта и реконструкции на примере стадиона «Заря» разработали алгоритм принятия решений при возникновении критических деформаций конструкций, влекущие за собой аварийные ситуации в период эксплуатации здания, капитального ремонта и реконструкции [17]. Однако данный алгоритм нацелен, на то, что следовать ему будут люди, а не компьютерные системы.

Ганзен Е.В. и Липидус А.А. в работе «Актуальные вопросы организации работ по капитальному ремонту и реконструкции общественных зданий» утверждают, что на момент написания ими статьи отсутствует инструмент, предназначенный для принятия организационно-технологических и управленческих решений по проведению реконструкции и капитального ремонта общественных зданий, который также позволил бы оценить перспективу и технико-экономическую обоснованность их осуществления [18].

В своей статье «Выбор значимых факторов для принятия решений по капитальному ремонту и реконструкции административных зданий» Ганзен Е.В. с привлечением 25 экспертов провел классификацию факторов влияющих на принятие решения по капитальному ремонту, а затем на основе методов математической статистики установил самые значимые факторы: физический износ здания, моральный износ здания, продолжительность эксплуатации здания, качество, плановый срок выполнения работ и наличие подземной инфраструктуры в зоне выполнения работ [19].

Исследователи Каракулова А.В. и Солдатова А.В. в своей научной работе «Алгоритм поддержки принятия решения по ранжированию приоритетности видов работ по капитальному ремонту многоквартирного дома» предлагают алгоритм субъектно-ориентированного ранжирования видов ремонтных работ по степени их важности и первоочередности. На значимость ремонтных работ, по мнению авторов, влияют следующие критерии: уровень физического износа, степень влияния ремонтируемого элемента на безопасность здания, степень влияния ремонтируемого элемента на комфортность здания [20].

В своей научной статье. «Особенности классификации жилых зданий для принятия решений по их реновации» Матренинский С.И., Старова К.К., Попова К.А. и Черкашина В.В. сформировали классы зданий по указанным показателям морального и физического износа, технической комфортности для планирования их реновации [21].

#### Аналитический обзор отечественных научных исследований, отображенных в диссертациях на соискание ученой степени кандидата технических наук

Также темы, связанные с ремонтами, поднимались в диссертациях на соискание ученой степени кандидата технических наук.

Так Опарин Р.Ю. в своей диссертации «Организация и планирование ремонта функциональных помещений с использованием информационных технологий» предложил инфологическую модель системы планирования ремонтно-строительных работ общественных зданий; ввел новую классификацию элементов зданий: сменяемые (срок службы элементов меньше срока службы здания) и несменяемые (срок службы элементов определяет срок службы всего здания); разработал методики определения размера ремонтного фонда на основе стоимостной оценки физического износа; разработал новую экономико-математическую модель планирования ремонтно-строительных работ [22].

В диссертации «Метод календарного планирования ремонта жилых зданий на основе их структурного анализа» Попова О.Н. предложила алгоритм системно-структурного подхода к организационно-технологическому проектированию и планированию комплексного процесса воспроизводства жилищного фонда; разработала методику кластеризации жилищного фонда на основе нейросетевого моделирования с использованием самоорганизующихся карт; сформировала модели физического износа конструктивных элементов и систем инженерного оборудования жилых зданий; разработала метод календарного планирования ремонта жилых зданий [23].

В диссертации «Мониторинг эксплуатационного износа зданий и сооружений и разработка матрицы организации капитальных и текущих ремонтов» Драпалюк Д.А. определил факторы количественной оценки эксплуатационного износа элементов зданий и сооружений для определения уровня остаточного ресурса; предложил математическую модель, описывающую износ зданий с учетом старения, степени поврежденности элементов, нарушений условий эксплуатации; разработал методику планирования ремонтно-строительных работ на основе интегральных показателей состояния несущих строительных конструкций [24].

Ганзен Е.В. в диссертации «Методика принятия решения проведения капитального ремонта и реконструкции административных зданий» установил параметры организационно-технологических решений, влияющих на принятие решения проведения работ по капитальному ремонту и реконструкции административных зданий; определил значимые факторы, влияющие на принятие решения о необходимости проведения капитального ремонта; разработал методику принятия решения проведения капитального ремонта [25].

В диссертации Бакушин Н.В. «Выбор рациональных технологических решений при капитальном ремонте и реконструкции зданий» сформулировал теоретические аспекты оценки и выбора рациональных технологических решений при капитальном ремонте жилых зданий; сформировал принципы формирования и обоснования выбора показателей и критериев оценки и выбора вариантов технических и организационно-технологических решений; разработал методы решения задач, возникающих в процессе проектирования, организационно-тех-

нологической подготовки и осуществления капитального ремонта жилых зданий [26].

### Заключение

Проведенный анализ свидетельствует о существующем интересе ученых к проблеме поиска технологий для улучшения принятия решений о проведении косметических ремонтов зданий. Идет поиск решений, результаты которых потенциально могут быть использованы в системе принятия решения о проведении косметического ремонта здания. Наличие соответствующих публикаций на мировом уровне показывает, что тема, связанная с оптимизацией ресурсов и улучшения качества ремонта зданий, актуальна и рассматривается в научном мире. Выполненный аналитический обзор научных работ может быть использован в качестве отправной точки для переосмысления результатов затронутых научных исследований с позиции их применения при проектировании интеллектуальной системы принятия решения о проведении косметического ремонта здания.

### ЛИТЕРАТУРА

1. A Predictive Maintenance Methodology: Predicting the Time-to-Failure of Machines in Industry 4.0 / Züfle M., Agne J., Grohmann J., Dörtoluk I., Kounev S. // 2021 IEEE 19th International Conference on Industrial Informatics (INDIN). 2021. P. 1–8.
2. Li C.S., Chen P.J., Guo S.J. Application of back-propagation artificial neural network to predict maintenance costs and budget for university buildings // 2010 Sixth International Conference on Natural Computation. 2010. V. 3. P. 1546–1551.
3. Liu Y. A forecasting model for maintenance and repair costs for office buildings. Montreal: Concordia University, 2006.
4. Developing a machine learning-based building repair time estimation model considering weight assigning methods / Kwon N., Ahn Y.H., Son B.S., Moon H. // Journal of Building Engineering. 2021. V. 43. P. 1–16.
5. Urgency of repair of building elements: Prediction and influencing factors in façade renders / Pereira C., Silva A., Brito J.D., Silvestre J.D. // Construction and Building Materials, 2020. V. 249. P. 1–27.
6. Park S., Kwon N., Ahn Y.H. Forecasting Repair Schedule for Building Components Based on Case-Based Reasoning and Fuzzy-AHP // Sustainability. 2019. V. 11. P. 1–17.
7. Hamid S.A., Meshref A.N., Zabel N.Y. A model for prioritizing concrete structures repair works // HBRC Journal. 2018. V. 14. P. 334–339.
8. Bucoń R., Sobotka A. Decision-making model for choosing residential building repair variants // Journal of Civil Engineering and Management. 2015. V. 21. P. 893–901.
9. Погодаев А.К., Корнеев А.Д., Маракушин М.В. Задача перспективного планирования ремонтно-восстановительных работ // Управление большими системами: сборник трудов. 2006. № 12–13. С. 134–141.
10. Жижко И.Б., Демьянов К.В. Учет степени физического износа в механизме финансирования капитального ремонта жилых зданий на основе моделей прогнозирования // Известия Байкальского государственного университета. 2014. № 2. С. 71–79.
11. Белый В.С., Адамушко Н.Н. Применение рядов Фурье для прогнозирования технического состояния здания // Экология и строительство. 2015. № 1. С. 11–14.
12. Киевский И.Л., Леонов В.В. Прогнозирование физического износа зданий // Жилищное строительство. 2017. № 7. С. 17–20.
13. Мищенко В.Я., Головинский П.А., Драпалюк Д.А. Прогнозирование темпов износа жилого фонда на основе мониторинга дефектов строительных конструкций // Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Строительство и архитектура. 2009. № 4. С. 111–117.
14. Шмелев Г.Д. Методика оценки риска при прогнозировании остаточного срока службы строительных конструкций // Академический вестник УралНИИпроект РААСН. 2013. № 3. С. 81–84.
15. Опарин Р.Ю. Применение методов статистической экстраполяции при планировании ремонтов зданий // Жилищное строительство. 2007. № 12. С. 16–18.
16. Полупанова Ю.Р., Петроченко М.В., Латухина А.И. Применение цифрового двойника здания для прогнозирования эксплуатационных затрат // Проблемы обеспечения функционирования и развития наземной инфраструктуры комплексов систем вооружения: Материалы III Всероссийской научно-технической конференции. СПб: Военно-космическая академия имени А.Ф. Можайского, 2019. С. 133–137.
17. Зайцев В.О., Богданов А.Н. Мониторинг зданий в BIM-комплексах в период эксплуатации, капитального ремонта и реконструкции на примере стадиона «Заря» // Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета. 2020. № 4. С. 88–95.
18. Ганзен Е.В., Лапидус А.А. Актуальные вопросы организации работ по капитальному ремонту и реконструкции общественных зданий // Строительное производство. 2020. № 4. С. 44–50.

19. Ганзен Е.В. Выбор значимых факторов для принятия решений по капитальному ремонту и реконструкции административных зданий // Строительное производство. 2021. № 4. С. 62–69.
20. Каракулова А.В., Солдатова А.В. Алгоритм поддержки принятия решения по ранжированию приоритетности видов работ по капитальному ремонту многоквартирного дома // MASTER'S JOURNAL. 2015. № 1. С. 160–166.
21. Особенности классификации жилых зданий для принятия решений по их реновации / Матренинский С.И., Старова К.К., Попова К.А., Черкашина В.В. // Высокие технологии в строительном комплексе. 2018. № 2. С. 21–31.
22. Опарин Р.Ю. Организация и планирование ремонта функциональных помещений с использованием информационных технологий: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Иваново, 2009. 24 с.
23. Попова О.Н. Метод календарного планирования ремонта жилых зданий на основе их структурного анализа: автореф. дис. ... канд. техн. наук. СПб, 2014. 22 с.
24. Драпалюк Д.А. Мониторинг эксплуатационного износа зданий и сооружений и разработка матрицы организации капитальных и текущих ремонтов: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Воронеж, 2010. 18 с.
25. Ганзен Е.В. Методика принятия решения проведения капитального ремонта и реконструкции административных зданий: автореф. дис. ... канд. техн. наук. М., 2022. 23 с.
26. Бакушин Н.В. Выбор рациональных технологических решений при капитальном ремонте и реконструкции зданий: автореф. дис. ... канд. техн. наук. М., 1998. 24 с.

---

© Качалин Василий Сергеевич (vasiliy.kachalin@gmail.com); Калугин Алексей Владимирович  
Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»