



19. Kolchunov V. I., Fedorova N. V., Savin S. Yu. Dinamicheskie effekti v staticheski neopredelimiakh fizicheski i konstruktivno nelineinikh sistemakh [Dynamic effects in statically indeterminate physically and structurally nonlinear structural systems]. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitelstvo* [Industrial and civil engineering]. 2022, no. 9, pp. 42–51. DOI 10.33622.0869-7019.2022.09.42-51. EDN OTJLOQ.
20. Kolchunov V. I., Tur V. V. Napravleniya proektirovaniya konstruktivnykh sistem v osobikh raschetnykh situatsiyakh [Some directions of development of survivability theory of structural systems of buildings and structures]. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitelstvo* [Industrial and Civil Engineering]. 2023, no. 7, pp. 5–15. DOI 10.33622.0869-7019.2023.07.05-15.
21. Fedorova N. V., Medyankin M. D., Bushova O. B. Eksperimentalnoe opredelenie parametrov statiko-dinami-cheskogo deformatsionnogo betona pri rezhimnom nagruzhении [Static-dynamic strength of concrete, ultimate deformations, experimental studies, method, static-dynamic loading]. *Stroitelstvo i rekonstruktsiya* [Construction and Reconstruction]. 2020, no. 3, pp. 72–81.
22. Alekseytsev A., Sazonova S. Numerical Analysis of the Buried Fiber Concrete Slabs Dynamics under Blast Loads Magazine of Civil Engineering. 2023, no. 1 (117), pp. 11703. DOI 10.34910/MCE.117.3. EDN FAWTHP.
23. Kaidas P. A., Meliksetyan S. R., Korenkova O. O. Otsenka prochnosti monolitnykh i sborno-monolitnykh zhelezobetonnykh balok s ispolzovaniem diagrammnykh metodov rascheta [Strength assessment of monolithic and prefabricated monolithic reinforced concrete beams using diagrammatic calculation methods] *Inzhenerno-stroitel'nyy vestnik Prikaspiya* [Engineering and Construction Bulletin of the Caspian Sea]. 2025, no. 1 (51), pp. 36–40. DOI 10.52684.2312-3702-2025-51-1-36-40.
24. Meliksetyan S. R., Kaidas P. A., Korenkova O. O. Prochnost i deformativnost izgibaemikh monolitnykh zhelezobetonnykh elementov pri dinamicheskikh avariinykh vozdeystviyakh [Strength and deformability of bending monolithic reinforced concrete elements under dynamic emergency effects]. *Inzhenerno-stroitel'nyy vestnik Prikaspiya* [Engineering and Construction Bulletin of the Caspian Sea]. 2025, no. 2(52), pp. 11–16. DOI 10.52684.2312-3702-2025-52-2-11-16. EDN SSFCNE.

© П. А. Кореньков, С. Е. Хохлунов

Ссылка для цитирования:

Кореньков П. А., Хохлунов С. Е. Силовое сопротивление и динамические характеристики рамных железобетонных конструкций при хрупком и пластическом разрушении // Инженерно-строительный вестник Прикаспия: научно-технический журнал / Астраханский государственный архитектурно-строительный университет. Астрахань: ГАОУ АО ВО «АГАСУ», 2026. № 1 (55). С. 13–20.

УДК 624.042.8
DOI 10.52684/2312-3702-2026-55-1-20-26

**ОЦЕНКА ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ СИСТЕМ ВЕНТИЛЯЦИИ В ТОРГОВЫХ ЦЕНТРАХ
НА ОСНОВЕ МЕТОДА ПРОГНОЗИРОВАНИЯ**

К. О. Чичиров, В. А. Гарькина, Т. Ю. Мамелина

Чичиров Константин Олегович, кандидат технических наук, доцент кафедры «Теплогасоснабжение и вентиляция», Пензенский государственный университет архитектуры и строительства, г. Пенза, Российская Федерация; e-mail: olegovich.79@mail.ru;

Гарькина Валерия Александровна, магистрант, Пензенский государственный университет архитектуры и строительства, г. Пенза, Российская Федерация; e-mail: valeriya-va@inbox.ru;

Мамелина Татьяна Юрьевна, кандидат биологических наук, заведующий кафедрой «Защита в чрезвычайных ситуациях», Пензенский казачий институт технологий (филиал) Московского государственного университета технологий и управления имени К. Г. Разумовского (Первый казачий университет), г. Пенза, Российская Федерация; e-mail: tmamelina@yandex.ru

Предлагается методология оценки технического состояния вентиляционных систем в торговых центрах с использованием прогностических моделей. Сформулирован комплексный подход к диагностике оборудования, опирающийся на анализ эксплуатационных характеристик и математическое моделирование процессов деградации элементов систем. Разработана модель прогнозирования остаточного ресурса вентиляционных установок, учитывающая совокупное влияние факторов износа, режимов эксплуатации и параметров окружающей среды. Приведен практический пример расчета показателей технического состояния вентиляционной системы крупного торгового центра. Полученные результаты могут быть использованы для оптимизации регламентов технического обслуживания и повышения энергоэффективности систем обеспечения микроклимата коммерческих объектов.

Ключевые слова: вентиляция торговых центров, техническое состояние, прогнозирование отказов, остаточный ресурс, диагностика оборудования, математическое моделирование, эксплуатационная надежность, энергоэффективность, техническое обслуживание, системы жизнеобеспечения.

**ASSESSMENT OF THE TECHNICAL CONDITION OF VENTILATION SYSTEMS
IN SHOPPING CENTERS BASED ON THE FORECASTING METHOD**

K. O. Chichirov, V. A. Garkina, T. Yu. Mamelina

Chichirov Konstantin Olegovich, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of Heat and Gas Supply and Ventilation Department, Penza State University of Architecture and Civil Engineering, Penza, Russian Federation; e-mail: olegovich.79@mail.ru;

Garkina Valeriya Aleksandrovna, undergraduate student, Penza State University of Architecture and Civil Engineering, Penza, Russian Federation; e-mail: valeriya-va@inbox.ru;

Mamelina Tatyana Yuryevna, Candidate of Biological Sciences, Head of Emergency Protection Department, Penza Cossack Institute of Technology (branch) of the Moscow State University of Technology and Management named after K. G. Razumovsky (First Cossack University), Penza, Russian Federation; e-mail: tmamelina@yandex.ru

Methodology for assessing the technical condition of ventilation systems in shopping centers using predictive models is proposed. A comprehensive approach to ventilation equipment diagnostics is formulated, based on the analysis of operational characteristics and mathematical modeling of system component degradation processes. A mathematical model for predicting the remaining service life of ventilation units has been developed, taking into account the combined influence of wear factors, operating modes, and environmental parameters. A practical example of calculating the technical condition indicators of a ventilation system in a large shopping center is provided. The results obtained can be used to optimize maintenance schedules and improve the energy efficiency of microclimate control systems in commercial facilities.

Keywords: *shopping center ventilation, technical condition, failure prediction, remaining service life, equipment diagnostics, mathematical modeling, operational reliability, energy efficiency, maintenance, life support systems.*

Введение

Системы вентиляции и кондиционирования воздуха являются неотъемлемой частью инженерной инфраструктуры современных торговых центров, обеспечивающей соответствие климатических условий установленным санитарно-гигиеническим требованиям для создания комфортной среды пребывания посетителей и сотрудников, поддержания необходимого режима хранения и реализации продукции. Эффективное функционирование этих систем напрямую влияет на уровень удовлетворенности клиентов, безопасность технологических процессов и конкурентоспособность торгового объекта [1, 2].

По данным отраслевых исследований, доля энергопотребления систем вентиляции и кондиционирования в структуре общих энергетических расходов торговых центров достигает 30–45 %, что обуславливает высокую экономическую значимость эффективного управления их эксплуатацией и техническим состоянием. Нарушения в работе вентиляционного оборудования могут привести к серьезным материальным потерям, включая прямые затраты на внеплановый ремонт, недополучение прибыли вследствие уменьшения потока посетителей, ухудшение качества и порчу реализуемых товаров при несоблюдении температурно-влажностного режима, возможное привлечение к административной ответственности со стороны контролирурующих и надзорных структур за нарушение санитарных и противопожарных норм.

В условиях увеличивающихся требований к энергоэффективности и надежности жизнеобеспечивающих систем особую актуальность приобретает задача разработки и внедрения современных методических подходов к оценке технического состояния вентиляционного оборудования. Такие подходы должны основываться на комплексном учете эксплуатационных параметров, режимов работы оборудования, факторов внешней среды, динамики процессов износа и старения элементов системы. Использование инструментов прогностической диагностики позволяет своевременно выявлять критические изменения технического состояния, прогнозировать остаточный ресурс оборудования и обосновывать необходимость проведения профилактических и ремонтных мероприятий на опережающей основе [3, 4].

Традиционные схемы технического обслуживания, регламентируемые жестко установленными временными интервалами, зачастую не отражают реальной картины состояния оборудования, что ведет либо к нерациональному расходованию ресурсов на избы-

точные сервисные операции, либо к риску превышения допустимых значений износа и внезапным отказам оборудования. Внедрение методов обслуживания по фактическому состоянию, основанных на анализе диагностических данных и результатах прогнозного моделирования, обеспечивает возможность оптимизации планирования регламентных работ, сокращения эксплуатационных расходов, повышения надежности и энергоэффективности вентиляционных и климатических систем торговых центров.

Постановка проблемы

К основным проблемам эксплуатации систем вентиляции в современных торговых центрах относятся ряд факторов, существенно влияющих на надежность и долговечность функционирования данного оборудования.

Во-первых, эксплуатация систем вентиляции осуществляется в условиях интенсивного режима работы. Торговые центры, как правило, функционируют в расширенном временном диапазоне – от 12 до 16 ч/сут. без выходных. Это создает существенно увеличенную наработку на отказ, способствует ускоренному нарастанию износа основных узлов и агрегатов, повышает вероятность возникновения предельных эксплуатационных режимов в периоды максимальной посещаемости объекта. В частности, пиковые нагрузки формируют дополнительные эксплуатационные риски, связанные с возможностью перегрузки вентиляторных агрегатов, систем фильтрации и автоматизированных средств управления [5].

Во-вторых, характерным признаком эксплуатации вентиляционного оборудования в торговых центрах является высокая вариативность нагрузок. Существенные колебания числа посетителей приводят к значительным суточным, недельным и сезонным колебаниям требуемой производительности систем вентиляции. Циклическая смена рабочих режимов способствует нарастанию усталостных процессов в элементах оборудования, провоцируя ускоренное развитие усталостных повреждений и снижение остаточного ресурса основных блоков и компонентов [6].

В-третьих, вентиляционные комплексы современных торговых центров характеризуются высокой степенью технической сложности и разветвленностью архитектуры. Системы включают в себя значительное количество приточно-вытяжных установок, развитые сети воздухопроводов различного назначения, многоступенчатые системы фильтрации и рекуперации тепла, интегрированные средства автоматизированного

управления и диспетчеризации. Отказ любого из критически важных элементов, будь то вентилятор, фильтр, датчик контроля параметров воздуха или исполнительный механизм, может привести к каскадному нарушению функциональности всей системы, вплоть до невозможности поддержания требуемых параметров микроклимата [7].

Еще одной проблемой является недостаточная развитость или полное отсутствие систем непрерывного мониторинга ключевых эксплуатационных характеристик вентиляционного оборудования. Дефицит достоверной информации о состоянии систем вентиляции существенно затрудняет своевременное выявление развивающихся дефектных состояний, снижает эффективность диагностических процедур и уменьшает возможности для превентивного вмешательства.

Кроме того, большинство торговых центров функционирует в условиях ограниченности эксплуатационного бюджета. Руководство эксплуатационных и управляющих организаций нередко стремится к минимизации затрат на техническое обслуживание, что приводит к преимущественно реактивному стилю управления ремонтами – выполнению ремонтных вмешательств исключительно по факту наступления отказа. Такой подход увеличивает риск возникновения аварийных ситуаций и серьезных технологических перерывов в работе торгового объекта [8, 9].

Указанные проблемы обуславливают высокую актуальность создания и внедрения научно обоснованной методологии, ориентированной на комплексное решение задач по обеспечению надежности и экономической эффективности эксплуатации вентиляционных систем. Ключевыми задачами в этом контексте становятся:

- объективная и регулярная оценка текущего технического состояния систем вентиляции на основании анализа эксплуатационных параметров и диагностической информации;
- разработка и применение математических моделей для прогнозирования остаточного ресурса технологического оборудования с учетом темпов нарастания износа и специфики режимов эксплуатации;
- оптимизация календарно-предупредительных графиков технического обслуживания, что позволит сократить издержки на обслуживание при одновременном снижении вероятности возникновения аварийных отказов;
- внедрение рациональных процедур идентификации развивающихся дефектов и проведение профилактических мероприятий по предотвращению внештатных ситуаций.

Реализация подобного комплекса решений позволит существенно повысить уровень эксплуатационной надежности, энергоресурсной эффективности, минимизировать финансовые и технологические риски, связанные с функционированием систем вентиляции в крупных торговых центрах.

Методы

Для решения обозначенных проблем представляется целесообразным применение комплексного методологического подхода, включающего

последовательную реализацию нескольких ключевых этапов. Первоначальным этапом предлагается оснащение системы вентиляции современной системой непрерывного мониторинга, регистрирующей ключевые эксплуатационные характеристики оборудования. К контролируемым параметрам относятся: производительность вентиляторных установок (измеряемая в м³/ч), уровень потребляемой мощности электрических двигателей (кВт), перепад давления на фильтрационных элементах (Па), температурные показатели подшипников скольжения и обмоток электродвигателей (°С), величина вибрационных воздействий (мм/с), параметры качества воздуха в обслуживаемых помещениях (концентрация углекислого газа, относительная влажность, температура и иные значения, характеризующие состояние воздушной среды). Данная информация поступает на центральный сервер и используется для последующего анализа и диагностики [10, 11]. Техническое состояние системы вентиляции определяется посредством расчета интегрального показателя K_{TC} :

$$K_{TC} = \sum_{i=1}^n w_i * k_i,$$

где k_i – относительные частные показатели технического состояния отдельных функциональных узлов; w_i – весовые коэффициенты, отражающие значимость соответствующих элементов в общей структуре системы (при этом $\sum_{i=1}^n w_i = 1$; n – количество контролируемых элементов).

Индивидуальные показатели состояния k_i рассчитываются по формуле:

$$k_i = 1 - \frac{|P_{изм} - P_{ном}|}{P_{доп}},$$

где $P_{изм}$ – текущее измеренное значение диагностируемого параметра, $P_{ном}$ – его номинальное нормативное значение, $P_{доп}$ – максимально допустимое отклонение данного параметра. Такая методика обеспечивает объективную, количественно выраженную оценку степени отклонения оборудования от штатного режима функционирования.

Система классификации технического состояния

На основании значения интегрального показателя K_{TC} техническое состояние системы вентиляции предлагается дифференцировать по следующим градациям:

- $K_{TC} \geq 0,9$ – отличное, предполагается проведение плановых профилактических мероприятий согласно регламенту;
- $0,7 \leq K_{TC} < 0,90$ – хорошее, рекомендуется регулярный мониторинг и анализ динамики изменений параметров;
- $0,5 \leq K_{TC} < 0,70$ – удовлетворительное, целесообразен усиленный контроль с сокращением межсервисного интервала;
- $0,3 \leq K_{TC} < 0,50$ – неудовлетворительное, требует оперативного проведения ремонтных работ;
- $K_{TC} < 0,3$ – аварийное, необходима немедленная остановка оборудования для предотвращения аварийных ситуаций и негативных последствий.

Разработка формализованного алгоритма принятия решений включает следующие этапы:

- обеспечение непрерывного автоматизированного сбора данных с датчиков и систем мониторинга;
- регулярный расчет интегрального показателя технического состояния $K_{тс}$ по мере поступления новых данных;
- выполнение прогностического расчета остаточного ресурса $T_{ост}$, позволяющего определить временной горизонт безопасной эксплуатации до достижения пороговых значений;
- сопоставление прогнозируемого остаточного ресурса с установленным плановым периодом до проведения следующего обслуживания;
- формирование управленческих рекомендаций по корректировке графика технических работ с учетом фактического состояния оборудования и эксплуатационных рисков;
- выполнение анализа экономической целесообразности предложенных изменений и оценка потенциальных выгод от внедрения обслуживания по техническому состоянию (включая снижение затрат на внеплановые ремонты, сокращение времени простоя оборудования и повышение энергоэффективности объекта) [12, 13].

Данный комплексный подход позволяет не только обеспечить наукоемкую и объективную оценку состояния вентиляционных систем, но и создать предпосылки для перехода к интеллектуальным системам управления техническим обслуживанием, основанным на принципах предиктивной диагностики и оптимизации жизненного цикла оборудования.

Рассмотрим реальный пример (в качестве объекта принят реальный торговый центр в г. Пензе) [14]. Для унификации интерпретации интегрального показателя целесообразно использовать пороговую шкалу, связывающую диапазоны $K_{тс}$ с категориями состояния и управленческими решениями. В прикладных задачах технической диагностики допускается следующая градация:

- $0 \leq K_{тс} < 0,30$ – аварийное (недопустимое) состояние, эксплуатация должна быть прекращена до устранения причин деградации;
- $0,3 \leq K_{тс} < 0,60$ – неудовлетворительное, эксплуатация возможна только при ограничениях и с сокращенными межконтрольными интервалами, приоритет – ремонт;
- $0,6 \leq K_{тс} < 0,850$ – работоспособное состояние с признаками деградации, требуется плановое обслуживание и мониторинг;
- $0,85 \leq K_{тс} \leq 1,00$ – исправное, эксплуатация в штатном режиме.

Приведенная шкала является инженерной (экспертной) и должна быть закреплена в локальном нормативном документе (регламенте мониторинга) с учетом типологии оборудования, класса ответственности объекта и требуемого уровня отказоустойчивости [15, 16].

Сопоставление частных индексов показывает, что деградация технического состояния носит комплексный характер и формируется, по крайней мере, двумя взаимосвязанными механизмами:

1) рост аэродинамического сопротивления в тракте (низкий k_3) приводит к смещению рабочей точки вентилятора, снижению расхода воздуха (k_1) и потенциальному росту механической нагрузки на вращающиеся элементы, что может отражаться на температуре подшипников (k_4) и уровне вибрации (k_5);

2) нарушение механического состояния вращающегося узла (нулевые k_4 и k_5) указывает на высокую вероятность дефектов подшипниковых опор, дисбаланса рабочего колеса, перекоса/несоосности и/или деградации опорной конструкции. Эти дефекты способны увеличивать потребляемую мощность (k_2) за счет роста механических потерь.

Таким образом, отклонения параметров не являются независимыми: часть диагностических признаков может иметь общий первопричинный фактор, а часть – представлять собой вторичные следствия. Полученное по логарифмической зависимости число $T_{ост} \approx 17\,183$ ч имеет смысл только при выполнении предпосылки, что текущий уровень $K_{тс}$ находится выше порога предельного состояния $K_{пр}$, деградация протекает монотонно и аппроксимируема выбранным законом. В рассматриваемом случае выполняется условие:

$$K_{тс} = 0,216 < K_{пр} = 0,3,$$

то есть объект уже перешел в область недопустимых значений, а значит:

- расчетный $T_{ост}$ следует трактовать как формальный результат математической модели, не как разрешение на дальнейшую эксплуатацию;
- корректная постановка задачи – не прогноз остаточного ресурса, а оценка вероятности отказа и определение объема восстановительных воздействий.

Практически это означает, что приоритетом является локализация первопричины (фильтры/аэродинамика, подшипники/балансировка, электродвигатель/питание), а затем повторная диагностика и пересчет $K_{тс}$.

Для минимизации времени простоя и повышения достоверности заключения рекомендуется следующая последовательность:

- 1) оперативные мероприятия (до разборки) – фиксация текущих режимов, регистрация вибрации по точкам, контроль температур, измерение перепада на фильтре и фактического расхода воздуха, анализ трендов (если ведется диспетчеризация);
- 2) восстановление аэродинамики – замена фильтров, осмотр воздухопроводов на предмет засорения/перекрытий, проверка положения заслонок и корректности работы автоматики;
- 3) механическая дефектация – проверка люфтов и состояния подшипников, оценка соосности, осмотр рабочего колеса на загрязнение/налипание, контроль крепежных элементов и виброопор;
- 4) балансировка и центровка – балансировка рабочего колеса, при необходимости корректировка центровки (в зависимости от компоновки агрегата);
- 5) электротехническая диагностика – проверка токов по фазам, качества питания, сопротивления изоляции, косвенных признаков дефектов обмоток;

сопоставление электрических параметров с паспортными;

б) контроль после ремонта – повторные измерения всех параметров, расчет k_i и $k_{тс}$, оформление протокола и вывод о допустимости эксплуатации.

На основании расчетов частных индексов и интегрального показателя $K_{тс} = 0,216$ техническое состояние приточно-вытяжной установки квалифицируется как аварийное. Основными лимитирующими факторами являются недопустимые значения температуры подшипников и вибрации, критический перепад давления на фильтре. Эксплуатация оборудования без проведения восстановительных мероприятий сопряжена с высоким риском отказа и экономически нецелесообразна [17, 18].

Выводы

По результатам проведенного исследования установлено, что разработанная методология оценки технического состояния систем вентиляции обеспечивает воспроизводимое и количественно обоснованное определение степени деградации оборудования на основе совокупности диагностических параметров, отражающих аэродинамические, энергетические и вибромеханические режимы работы. Использование интегрального показателя технического состояния $K_{тс}$, формируемого путем взвешенной агрегации частных нормированных индексов, обеспечивает сопоставимость результатов для различных типов вентиляционного оборудования и эксплуатационных условий при корректной настройке допусков и весовых коэффициентов. Применяемая модель прогнозирования остаточного ресурса, основанная на экспоненциальном законе деградации, может рассматриваться как достаточно точный инструмент планирования технического обслуживания и ремонтов при наличии регулярного мониторинга, накопления ретроспективных данных и периодической верификации параметров модели. Наибольшую диагностическую значимость с точки зрения риска функционального отказа демонстрируют температура подшипников, уровень вибрации, перепад давления на фильтрах и потребляемая мощность, поскольку эти показатели напрямую связаны с состоянием вращающихся узлов, ростом сопротивления системы и изменением энергетической эффективности [19].

Для эксплуатирующих организаций целесообразно внедрение автоматизированного мониторинга ключевых параметров с централизованным сбором и передачей данных в систему диспетчерского управления для анализа трендов и раннего выявления отклонений. Рекомендуется закрепить периодичность оценки технического состояния не реже одного раза в месяц для критически важного оборудования и не реже одного раза в квартал для прочих систем при стабильных режимах работы. Планирование технического обслуживания следует выполнять на основе прогнозируемого остаточного

ресурса и динамики $K_{тс}$, дополняя регламентно-календарный подход стратегией обслуживания по фактическому состоянию. Необходимо формирование и ведение базы данных эксплуатационной истории (наработка, режимы, ремонты, отказы, результаты измерений) для уточнения диагностических критериев и повышения точности прогностических моделей. При снижении $K_{тс}$ ниже 0,5 рекомендуется инициировать внеплановую углубленную диагностику с привлечением специализированных организаций, включая расширенный вибродиагностический контроль, оценку температурных режимов и проверку электрических параметров привода [20].

Для проектных организаций целесообразно предусматривать на стадии проектирования инфраструктуру мониторинга состояния, включая точки установки датчиков, сервисную доступность узлов, каналы передачи данных и требования к электропитанию. Рекомендуется закладывать резерв по производительности вентиляционных установок не менее 15 % для компенсации ожидаемого снижения характеристик в процессе эксплуатации. Приоритетным является применение установок с частотным регулированием привода, обеспечивающим оптимизацию рабочих режимов и снижение динамических и циклических нагрузок.

Для производителей оборудования обоснованной представляется интеграция в конструкцию вентиляционных установок датчиков вибрации, температуры и перепада давления либо предоставление штатных мест под их установку с поддержкой стандартизованных диагностических интерфейсов. Перспективным направлением является развитие цифрового моделирования, включая цифровые двойники, для повышения точности описания деградационных процессов и поддержки решений по обслуживанию на основе эксплуатационных данных. Целесообразно также разработка и предоставление программного обеспечения для расчета диагностических индексов, трендового анализа, оповещения о достижении пороговых значений и формирования отчетности, сопровождаемого методическими рекомендациями по интерпретации результатов.

В качестве направлений дальнейших исследований актуальны разработка адаптивных алгоритмов прогнозирования остаточного ресурса с использованием методов машинного обучения при сохранении физической интерпретируемости и обязательной оценке неопределенности; количественный анализ влияния климатических факторов, качества наружного воздуха и режимов эксплуатации на скорость деградации узлов; создание цифровых платформ для сбора и анализа данных по множеству объектов с обеспечением сопоставимости показателей; статистически обоснованная оптимизация весовых коэффициентов w_i и порогов принятия решений для различных типов оборудования на основе данных об отказах и ремонтных воздействиях.

Список литературы

1. Боровков Д. П. Аэродинамический расчет систем аспирации при организации закрутки потока в воздуховодах / Д. П. Боровков, К. О. Чичиров // Региональная архитектура и строительство. – 2012. – № 3. – С. 145–148.

2. Чичиров К. О. Техническая экспертиза: исследование систем вентиляции в торговом развлекательном центре / К. О. Чичиров, И. Н. Гарькин, Д. П. Боровков, В. А. Леонтьев // Инженерно-строительный вестник Прикаспия. – 2023. – № 2 (44). – С. 18–24.
3. Осипова Н. Н. Повышение эффективности эксплуатации баллонных установок при их заполнении сжиженным углеводородным газом / Н. Н. Осипова, Д. С. Яковлев, Б. М. Гришин // Региональная архитектура и строительство. – 2025. – № 1 (62). – С. 169–176.
4. Черемин А. Н. Система поддержки принятия решений для планирования ремонта оборудования жилищно-коммунального хозяйства / А. Н. Черемин // Инженерно-строительный вестник Прикаспия. – 2025. – № 3 (53). – С. 71–76.
5. Саинова В. Н. Исследование эффективной технологии очистки сточных вод кожевенного производства / В. Н. Саинова, Е. В. Андреева, Д. Лассана // Инженерно-строительный вестник Прикаспия. – 2023. – № 2 (44). – С. 24–29.
6. Grishin B., Andreev S., Garkina I., Bikunova M., Salmin S., Lebedinskiy K. Electrochemical synthesis of oxidizing reagent - sodium ferrate in aqueous solutions of sodium hydroxide // AIP Conference Proceedings. 2. Ser. "Proceedings of the II International Conference on Advances in Materials, Systems and Technologies, CAMSTech-II 2021". – 22 June 2022. – Vol. 2467, issue 1. – P. 080024.
7. Леонтьев С. В. Оценка долговечности и сохранности физико-механических свойств каменной кладки фундаментов исторических зданий XIX века постройки / С. В. Леонтьев, А. А. Талейко // Инженерно-строительный вестник Прикаспия. – 2023. – № 2 (44). – С. 47–52.
8. Гарькин И. Н. Техническая экспертиза: идентификация опасных производственных объектов / И. Н. Гарькин, И. А. Гарькина, Л. Г. Поляков // Инженерный вестник Дона. – 2023. – № 2 (98). – С. 25–32.
9. Гарькина И. А. Техническая экспертиза: обоснование демонтажа зданий и сооружений / И. А. Гарькина, И. Н. Гарькин // Фундаментальные исследования. – 2017. – № 10-3. – С. 412–417.
10. Королева Т. И. Технико-экономическая эффективность водохозяйственных систем населенных мест / Т. И. Королева, В. В. Щербак, И. А. Каледа // Региональная архитектура и строительство. – 2021. – № 1 (46). – С. 203–210.
11. Абдуллазянов Э. Ю. Моделирование движения воздушных масс в котлованах при строительстве объектов энергетического комплекса / Э. Ю. Абдуллазянов, Ю. В. Старцева, Т. Б. Гадаборшева, А. В. Карманов, И. Н. Гарькин // Вестник Казанского государственного энергетического университета. – 2024. – Т. 16, № 1 (61). – С. 3–10.
12. Еремкин А. И. Исследование процессов увлажнения кондиционированным воздухом текстильных полуфабрикатов на основе математического моделирования / А. И. Еремкин, С. В. Баканова // Региональная архитектура и строительство. – 2019. – № 1 (38). – С. 164–170.
13. Баканова С. В. Тепловлажностный и воздушный балансы в животноводческих помещениях / С. В. Баканова, В. Е. Белов // Региональная архитектура и строительство. – 2022. – № 1 (50). – С. 116–119. – DOI 10.54734/20722958_2022_1_116.
14. Попов А. О. Использование технологий информационного моделирования при обследовании объектов культурного наследия / А. О. Попов, И. Н. Гарькин, Л. С. Сабитов, Э. Ю. Абдуллазянов // Инженерные исследования. – 2024. – № 1 (16). – С. 23–29.
15. Третьяк Л. П. Особенности системы управления профессиональными рисками / Л. П. Третьяк, А. М. Руденко // Инженерно-строительный вестник Прикаспия. – 2019. – № 1 (27). – С. 105–109.
16. Поташов А. Д. Интеллектуальные решения для прогнозирования отказов в системах медицинского газоснабжения / А. Д. Поташов, Л. А. Плешакова // Инженерно-строительный вестник Прикаспия. – 2025. – № 1 (51). – С. 10–15.
17. Чеснокова О. Г. Предложения по теплоизоляции пола в помещениях первого этажа, расположенных над холодным подвалом / О. Г. Чеснокова, М. Д. Журбенко, С. Н. Торгашина, А. И. Кургузов // Инженерно-строительный вестник Прикаспия. – 2024. – № 2 (48). – С. 24–28.
18. Гарькина И. А. Оценка технического состояния строительных конструкций: энтропийный подход / И. А. Гарькина, С. Б. Языев, Д. А. Артемьев // Региональная архитектура и строительство. – 2025. – № 4 (65). – С. 130–136.
19. Гарькина И. А. Математическое моделирование процессов деградации / И. А. Гарькина, Л. Ш. Ахтямова, Л. И. Киямова, Ф. Ф. Фазыльзянов // Научно-технический вестник Поволжья. – 2025. – № 7. – С. 31–35.
20. Будылина Е. А. Имитационное моделирование сложных систем / Е. А. Будылина, И. А. Гарькина, А. М. Данилов // Региональная архитектура и строительство. – 2023. – № 3 (56). – С. 43–48.

References

1. Borovkov D. P., Chichirov K. O. Aerodinamicheskii raschet sistem aspiratsii pri organizatsii zakrutki potoka v vozdukhovodakh [Aerodynamic calculation of exhaust systems with flow swirling in air ducts]. *Regionalnaya arkhitektura i stroitelstvo* [Regional Architecture and Construction]. 2012, no. 3, pp. 145–148.
2. Chichirov K. O., Garkin I. N., Borovkov D. P., Leontev V. A. Tekhnicheskaya ekspertiza: issledovanie sistem ventilyatsii v torgovom razvlekatelnom tsentre [Technical Expertise: Study of Ventilation Systems in a Shopping and Entertainment Center]. *Inzhenerno-stroitel'nyi vestnik Prikaspiya* [Caspian Engineering and Construction Bulletin]. 2023, no. 2 (44), pp. 18–24.
3. Osipova N. N., Yakovlev D. S., Grishin B. M. Povishenie effektivnosti ekspluatatsii ballonnikh ustanovok pri ikh zapolnenii szhizhennim uglevodородnim gazom [Increasing the efficiency of operating cylinder installations when filling them with liquefied hydrocarbon gas]. *Regionalnaya arkhitektura i stroitelstvo* [Regional Architecture and Construction]. 2025, no. 1 (62), pp. 169–176.
4. Cheremin A. N. Sistema podderzhki prinyatiya reshenii dlya planirovaniya remonta oborudovaniya zhilishchno-kommunalnogo khozyaistva [Decision support system for planning the repair of housing and communal services equipment]. *Inzhenerno-stroitel'nyi vestnik Prikaspiya* [Caspian Engineering and Construction Bulletin]. 2025, no. 3 (53), pp. 71–76.
5. Sainova V. N., Andreeva Ye. V., Lassana D. Issledovanie effektivnoi tekhnologii ochistki stochnikh vod kozhevennogo proizvodstva [Study of an efficient technology for treating wastewater from tannery production]. *Inzhenerno-stroitel'nyi vestnik Prikaspiya* [Caspian Engineering and Construction Bulletin]. 2023, no. 2 (44), pp. 24–29.
6. Grishin B., Andreev S., Garkina I., Bikunova M., Salmin S., Lebedinskiy K. Electrochemical synthesis of oxidizing reagent - sodium ferrate in aqueous solutions of sodium hydroxide. *AIP Conference Proceedings. 2. Ser. "Proceedings of the II International Conference on Advances in Materials, Systems and Technologies, CAMSTech-II 2021"*. 22 June 2022, vol. 2467, iss. 1, pp. 080024.



7. Leontev S. V., Taleiko A. A. Otsenka dolgovечnosti i sokhrannosti fiziko-mekhanicheskikh svoystv kamennoi kladki fundamentov istoricheskikh zdaniy XIX veka postroiki [Assessment of the durability and preservation of the physical and mechanical properties of masonry foundations of historic buildings built in the 19th century]. *Inzhenerno-stroitel'nyy vestnik Prikaspiya* [Caspian Engineering and Construction Bulletin]. 2023, no. 2 (44), pp. 47–52.
8. Garkin I. N., Garkina I. A., Polyakov L. G. Tekhnicheskaya ekspertiza: identifikatsiya opasnykh proizvodstvennykh obektov [Technical Expertise: Identification of Hazardous Industrial Facilities]. *Inzhenernyy vestnik Dona* [Engineering journal of Don]. 2023, no. 2 (98), pp. 25–32.
9. Garkina I. A., Garkin I. N. Tekhnicheskaya ekspertiza: obosnovanie demontazha zdaniy i sooruzheniy [Technical Expertise: Justification for the Demolition of Buildings and Structures]. *Fundamentalnye issledovaniya* [Fundamental Research.]. 2017, no. 10-3, pp. 412–417.
10. Koroleva T. I., Shcherbakova V. V., Kaleda I. A. Tekhniko-ekonomicheskaya effektivnost vodokhozyaistvennykh sistem naselennykh mest [Technical and Economic Efficiency of Water Management Systems in Populated Areas]. *Regionalnaya arkhitektura i stroitel'stvo* [Regional Architecture and Construction]. 2021, no. 1 (46), pp. 203–210.
11. Abdullazyanov E. Yu., Startseva Yu. V., Gadaborsheva T. B., Karmanov A. V., Garkin I. N. Modelirovaniye dvizheniya vozdukhnykh mass v kotlovanakh pri stroitel'stve obektov energeticheskogo kompleksa [Modeling of Air Mass Movement in Excavations During Construction of Energy Facilities]. *Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo energeticheskogo universiteta* [Bulletin of Kazan State Power Engineering University]. 2024, vol. 16, no. 1 (61), pp. 3–10.
12. Yeryomkin A. I., Bakanova S. V. Issledovaniye protsessov uvlazhneniya konditsionirovannim vozdukhom tekstilnykh polufabrikatov na osnove matematicheskogo modelirovaniya [A study of the processes of humidification of semi-finished textile products with conditioned air based on mathematical modeling]. *Regionalnaya arkhitektura i stroitel'stvo* [Regional Architecture and Construction]. 2019, no. 1 (38), pp. 164–170.
13. Bakanova S. V., Belov V. Ye. Teplovlazhnostnyy i vozdukhnyy balansy v zhivotnovodcheskikh pomeshcheniyakh [Heat, humidity, and air balances in livestock buildings]. *Regionalnaya arkhitektura i stroitel'stvo* [Regional Architecture and Construction]. 2022. No. 1 (50). Pp. 116–119. DOI 10.54734/20722958_2022_1_116.
14. Popov A. O., Garkin I. N., Sabitov L. S., Abdullazyanov E. Yu. Ispol'zovaniye tekhnologii informatsionnogo modelirovaniya pri obsledovanii obektov kulturnogo naslediya [Using information modeling technologies in surveying cultural heritage sites]. *Inzhenernye issledovaniya* [Engineering Research]. 2024. No. 1 (16). Pp. 23–29.
15. Tretyak L. P., Rudenko A. M. Osobennosti sistem upravleniya professionalnymi riskami [Features of the professional risk management system]. *Inzhenerno-stroitel'nyy vestnik Prikaspiya* [Caspian Engineering and Construction Bulletin]. 2019, no. 1 (27), pp. 105–109.
16. Potashov A. D., Pleshakova L. A. Intel'lectualnye resheniya dlya prognozirovaniya otkazov v sistemakh meditsinskogo gazosnabzheniya [Intelligent Solutions for Predicting Failures in Medical Gas Supply Systems]. *Inzhenerno-stroitel'nyy vestnik Prikaspiya* [Caspian Engineering and Construction Bulletin]. 2025. No. 1 (51). Pp. 10–15.
17. Chesnokova O. G., Zhurbenko M. D., Torgashina S. N., Kurguzov A. I. Predlozheniya po teploizolyatsii pola v pomeshcheniyakh pervogo etazha, raspolozhennykh nad kholodnim podvalom [Proposals for thermal insulation of floors in ground-floor rooms located above a cold basement]. *Inzhenerno-stroitel'nyy vestnik Prikaspiya* [Caspian Engineering and Construction Bulletin]. 2024. No. 2 (48). Pp. 24–28.
18. Garkina I. A., Yaziev S. B., Artemev D. A. Otsenka tekhnicheskogo sostoyaniya stroitel'nykh konstruksii: entropiyniy podkhod [Assessment of the technical condition of building structures: an entropy approach]. *Regionalnaya arkhitektura i stroitel'stvo* [Regional Architecture and Construction]. 2025. No. 4 (65). Pp. 130–136.
19. Garkina I. A., Akhtyamova L. Sh., Kiyamova L. I., Fazilyanov F. F. Matematicheskoye modelirovaniye protsessov degradatsii [Mathematical modeling of degradation processes]. *Nauchno-tekhnicheskii vestnik Povolzhya* [Scientific and Technical Bulletin of the Volga Region]. 2025. No. 7. Pp. 31–35.
20. Budilina Ye. A., Garkina I. A., Danilov A. M. Imitatsionnoye modelirovaniye slozhnykh sistem [Simulation modeling of complex systems]. *Regionalnaya arkhitektura i stroitel'stvo* [Regional Architecture and Construction]. 2023. No. 3 (56). Pp. 43–48.

© К. О. Чичиров, В. А. Гарькина, Т. Ю. Мамелина

Ссылка для цитирования:

Чичиров К. О., Гарькина В. А., Мамелина Т. Ю. Оценка технического состояния систем вентиляции в торговых центрах на основе метода прогнозирования // Инженерно-строительный вестник Прикаспия : научно-технический журнал / Астраханский государственный архитектурно-строительный университет. Астрахань : ГБОУ АО ВО «АГАСУ», 2026. № 1 (55). С. 21–26.

УДК 628.49; 005.22:001.895(063); 005.572(063); 669; 691.611
DOI 10.52684/2312-3702-2026-55-1-26-33

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРОЦЕССА ДОМЕННОГО ПИРОЛИЗА
ДЛЯ ПЕРЕРАБОТКИ БЫТОВЫХ И ПРОМЫШЛЕННЫХ ОТХОДОВ**

Р. И. Шаяхмедов, Ю. И. Убогович, В. Ф. Протопопов

Шаяхмедов Растам Ирфагильевич, кандидат экономических наук, доцент кафедры экспертизы, эксплуатации и управления недвижимостью, Астраханский государственный архитектурно-строительный университет, г. Астрахань, Российская Федерация, тел.: + 7 (917) 091-53-34; e-mail: rastams@mail.ru;

Убогович Юлия Ивановна, кандидат экономических наук, заведующая кафедрой экспертизы, эксплуатации и управления недвижимостью, Астраханский государственный архитектурно-строительный университет, г. Астрахань, Российская Федерация, тел.: + 7 (928) 237-83-55; e-mail: yubogovich@bk.ru;

Протопопов Василий Федорович, студент, Астраханский государственный архитектурно-строительный университет, г. Астрахань, Российская Федерация, тел.: + 7 (917) 177-64-21; e-mail: vasya210120@mail