

УДК/UDC 519.23:681.518.5
DOI: 10.25206/1813-8225-2025-196-82-91
EDN: GTXLIW
Научная статья/Original article

МЕТОДЫ ТЕОРИИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ КАК СПОСОБ ПОВЫШЕНИЯ ДОСТОВЕРНОСТИ ОЦЕНКИ СОСТОЯНИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

В. А. Дышлевский^{1,2}, И. С. Кудрявцева¹, А. П. Науменко¹, В. А. Рольгейзер^{1,3}

¹Омский государственный технический университет, Россия, 644050, г. Омск, пр. Мира, 11

²ООО «ВС Инжиниринг», Россия, 644010, г. Омск, б-р Мартынова, 4

³Омский государственный университет путей сообщения,
Россия, 644046, г. Омск, пр. К. Маркса, 35

В работе рассматриваются методы технической диагностики, основанные на формировании правил принятия решений, которые связывают совокупность диагностических признаков с возможными состояниями объекта. Использование вероятностно-статистических методов позволяет принимать решения на основе вероятностей возникновения различных признаков. Исследование показывает, что выбор метода теории принятия решений зависит от конкретной проблемы. Метод Байеса выделяется своей эффективностью и простотой расчёта, что делает его популярным в различных отраслях для оценки технического состояния объектов. В то же время для систем с повышенной ответственностью, таких как системы безопасности, предпочтение отдаётся методу Вальда, который минимизирует риск и обеспечивает максимальную безопасность.

Ключевые слова: оценка технического состояния, методы теории принятия решений, вероятностно-статистические методы, система мониторинга и диагностики, метод Байеса, метод Вальда.

Для цитирования: Дышлевский В. А., Кудрявцева И. С., Науменко А. П., Рольгейзер В. А. Методы теории принятия решений как способ повышения достоверности оценки состояния технических систем // Омский научный вестник. 2025. № 4 (196). С. 82–91. DOI: 10.25206/1813-8225-2025-196-82-91. EDN: GTXLIW.



© Дышлевский В. А., Кудрявцева И. С., Науменко А. П., Рольгейзер В. А., 2025.
Контент доступен под лицензией Creative Commons Attribution 4.0 License.

METHODS OF DECISION THEORY AS A WAY TO INCREASE THE RELIABILITY OF ASSESSMENT OF THE TECHNICAL SYSTEMS STATE

V. A. Dyshlevskiy^{1,2}, I. S. Kudryavtseva¹, A. P. Naumenko¹, V. A. Rol'geyzer^{1,3}

¹Omsk State Technical University, Russia, Omsk, Mira Ave., 11, 644050

²LLC "VS Engineering", Russia, Omsk, Martynov Boul., 4, 644010

³Omsk State Transport University, Russia, Omsk, Karl Marks Ave., 35, 644046

The article discusses various approaches to technical diagnostics based on decision-making methods. Particular attention is paid to probabilistic and statistical methods that help to make informed decisions, taking into account the likelihood of certain functions being performed. The study shows that the choice of a specific technique depends on the specific problem being considered. Bayesian methods are efficient and easy to calculate, which makes them popular for industrial applications in assessing technical condition. For high-risk systems the article recommends to apply the Wald method.

Keywords: assessment of technical condition, methods of decision theory, probabilistic and statistical methods, monitoring and diagnostic system, Bayes method, Wald method.



Введение

В современных условиях рыночной экономики для предприятий с непрерывным производством продукции актуальными являются проблемы, связанные с повышением ресурса работы технологического оборудования и обеспечением его безаварийной эксплуатации. Решение указанных проблем может быть достигнуто путём внедрения средств диагностирования технических устройств, позволяющих на ранней стадии зафиксировать начало деструктивных процессов и отслеживать процесс их развития вплоть до перехода в предельное или опасное состояние [1, 2].

Интенсивность отказов оборудования можно разделить на три стадии (рис. 1) [3, 4]:

1. Период начальной приработки. На данной стадии система часто даёт сбой из-за производственных дефектов и отказа наиболее уязвимых компонентов со скрытыми недостатками. Количество отказов уменьшается по мере замены неисправных деталей на более качественные.

2. Период нормальной работы. Система работает стабильно, и число отказов остаётся примерно одинаковым.

3. Период массового износа и старения. В указанный период система начинает часто ломаться. Дальнейшая эксплуатация становится нецелесообразной.

Очевидно, одним из наиболее важных механизмов обеспечения надёжности объектов является своевременное предупреждение или обнаружение неисправностей, а также оценка их технического состояния. Мониторинг технического состояния на промышленных предприятиях может принести значительную экономию: увеличение эффективности производства на 2–10 % и снижение затрат на обслуживание оборудования на 50 % [5].

На практике основной сложностью, возникающей при мониторинге технического состояния, является уменьшение риска пропуска опасного состояния оборудования τ , представляющего собой

сумму ошибки системы диагностики и мониторинга (СДМ) η и человеческого фактора h [6, 7].

Аварии и инциденты продолжают происходить даже при наличии современных технологий и систем, нанося значительный ущерб людям, окружающей среде и экономике. Так, например, в 2017 г. на хранилище нефтепродуктов ТЭЦ в Норильске произошла авария, которая привела к значительным убыткам. Согласно отчётам, отсутствие системы мониторинга состояния резервуаров привело к тому, что не была вовремя обнаружена утечка нефтепродуктов [8]. Стоимость последствий аварии оценивается в 146 млрд руб. [9]. При этом стоимость системы мониторинга состояния резервуаров, которая могла бы предотвратить аварию, оценивается в десятки миллионов рублей.

В 2009 году на Саяно-Шушенской ГРЭС произошла авария, которая привела к гибели 75 человек [10]. Причиной аварии стало игнорирование показаний датчиков относительной вибрации [10]. Очевидно, что, если бы операторы ГРЭС приняли во внимание эти показания, аварию можно было предотвратить.

Ещё одна авария произошла летом 2014 г. на Ачинском нефтеперерабатывающем заводе. По данным расследования причиной аварии стало критическое утончение металла технологического трубопровода в результате локальной коррозии, а также неправильная работа экспертов в области промышленной безопасности [11].

Рассмотрение этих случаев показывает значительное влияние человеческого фактора. Следовательно, в системах, где основным звеном управления остаётся человек, уменьшение риска пропуска опасного состояния сводится к минимизации ошибки СДМ.

В современных условиях, когда технологии и системы становятся все более сложными, оценка технического состояния объектов требует применения специальных методов и подходов. К таким методам относят теорию распознавания образов и вероятностно-статистические методы принятия решений, которые позволяют проанализировать риски и последствия различных исходов и принять обоснованное решение. Это решение основывается на риске, который учитывает вероятность наступления события и его последствия.

Постановка задачи

Целью исследования является обзор существующих методов теории принятия решений для оценки технического состояния оборудования и выработка рекомендаций по их применению в зависимости от типа решаемой диагностической задачи и требований к надёжности. Задачи исследования:

1. Рассмотреть применение методов теории принятия решений для осуществления задач в различных отраслях промышленности.

2. Проанализировать современные проблемы и задачи в области оценки технического состояния объектов.

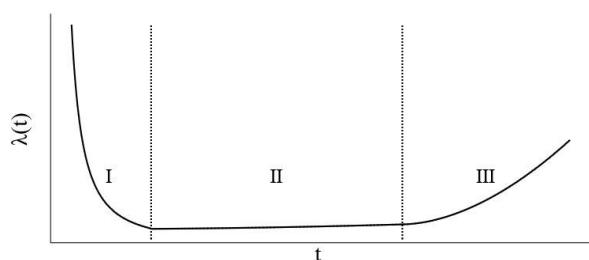


Рис. 1. Интенсивность отказов оборудования:
I — период приработки; II — период нормальной эксплуатации;
III — период массового износа и старения;
 $\lambda(t)$ — интенсивность отказов; t — время
Fig. 1. Equipment failure rate: I — run-in period;
II — period of normal operation; III — period of mass wear
and aging; $\lambda(t)$ — failure rate; t — time

Теоретические основы оценки технического состояния объекта

Техническое состояние объекта — это состояние, характеризующее совокупностью установленных в документации параметров, описывающих его способность выполнять требуемые функции в рассматриваемых условиях [12]. Ниже приведены виды технического состояния объекта:

- исправное (исправность) / неисправное (неисправность);
- работоспособное/неработоспособное;
- рабочее/нерабочее;
- предельное;
- опасное;
- предотказное.

Методы оценки технического состояния разделяют на субъективные и объективные.

Субъективные методы подразумевают методы оценки технического состояния, при которых для сбора информации используются органы чувств человека, а также простейшие устройства и приспособления. К таким методам относятся:

- визуальный осмотр;
- контроль температуры;
- анализ акустических сигналов и др.

Под объективными методами подразумеваются такие методы оценки технического состояния, при которых для сбора и анализа информации используются специализированные устройства и приборы, электронно-вычислительная техника, а также соответствующее программное и нормативное обеспечение. Они включают:

- вибрационную диагностику;
- методы неразрушающего контроля и др.

Применение методов теории принятия решений в различных отраслях

Теория принятия решений — это наука, которая направлена на разработку методов для анализа и принятия оптимальных решений в условиях неопределённости, риска и многокритериальности, с целью достижения желаемого результата и максимизации полезности [13].

Методы теории принятия решений можно разделить на две группы: формализованные (математические) и неформализованные (эвристические) [14].

Формализованные методы подходят для структурированных проблем, которые возможно разрешить на основе статистических данных и других количественных показателей. Основной способ работы — моделирование реальности и её анализ.

Неформализованные методы применяются в случае, когда математический аппарат неприменим. Они включают в себя совокупность логических приёмов и методик выбора решений с помощью сопоставления альтернатив и с учётом накопленного опыта. Указанные методы используют, если отсутствует необходимая информация или она не устраняет неопределённость [14].

К формализованным методам относятся:

- экономико-математические модели и методы;
- системный анализ;
- экспертные оценки и суждения.

Неформализованные методы:

- метод мозгового штурма;
- метод Дельфы;
- метод сценариев;
- метод дерева решений.

Все методы нашли широкое применение в различных отраслях. Так, например, анализ научных

разработок в области принятия решений в государственном секторе за 2010–2020 гг. выявил тенденцию к использованию унифицированных методов в процессах принятия решений [15].

Алгоритм дерева решений — метод, позволяющий дать представление о действиях и их последствиях в виде упорядоченной иерархии. Указанный метод помогает, например, врачам принимать более точные и обоснованные диагностические решения за счёт систематизации и структурирования данных, которые лучшим образом соответствуют симптомам и лабораторным результатам конкретного пациента [16, 17].

Помимо алгоритма дерева решений в медицине наиболее эффективен метод Receiver operating characteristic (ROC). Известно использование ROC для анализа по определению способности сывороточного ферритина, чтобы спрогнозировать тяжесть заболевания и смертность у пациентов с COVID-19 [18]. Также ROC — анализ, который применяется для оценки производительности моделей машинного обучения для классификации доброкачественных и злокачественных опухолей [19].

При разработке алгоритма прогнозирования результатов исследований биоэквивалентности был применён метод последовательного статистического анализа, который обеспечил высокую чувствительность и специфичность (90 % и 80 % соответственно). Также сообщается, что разработанный алгоритм может быть модифицирован и улучшен с учётом накопления дополнительных данных, что позволит повысить его точность и применимость на практике [20].

Для решения проблем навигации и принятия решений в условиях неопределённости применяются метод Байеса и метод нечёткой логики. Метод Байеса используется для улучшения навигации в условиях неопределённости, а метод нечёткой логики — для оценки риска столкновения и принятия решений о предотвращении столкновений в критических ситуациях [21, 22].

С целью повышения уровня защищённости и предотвращения несанкционированного доступа злоумышленника к информации предлагается методологический подход к выявлению наиболее опасных факторов, которые могут привести к взлому [23].

Данный метод основан на использовании метода Байеса и экспериментальных данных в виде времени и объёмов памяти, выделяемых системой для запуска атак. Применение метода рассматривается на примере сетевой атаки «Внедрение ложного объекта сети».

Для фильтрации спама и улучшения обработки текстовой информации применяется наивный байесовский метод, который позволяет классифицировать сообщения как спам или не-спам на основе вероятностного анализа [24].

Теория игр нашла широкое применение в глубоком обучении, которое является быстро развивающейся областью исследований в сфере искусственного интеллекта. Отмечается, что теория игр может быть использована для улучшения результатов в моделях глубокого обучения [25].

Методы теории принятия решений в оценке технического состояния объекта

Техническая диагностика основана на формировании правил принятия решений, каждое из которых присваивает совокупность диагностических

признаков одному из возможных состояний (диагнозов) объекта [26, 27].

Вероятностно-статистические методы используются для принятия решений на основе совокупности диагностических признаков, каждый из которых имеет определённую вероятность возникновения [28].

Основные вероятностно-статистические методы [29 – 36]:

- метод минимального риска;
- метод Неймана – Пирсона;
- метод Байеса;
- наивный байесовский классификатор;
- метод Вальда;
- метод Сэвиджа;
- метод минимакса;
- метод Лапласа;
- ROC-анализ.

Метод минимального риска — метод, который используется для определения граничного значения определяющего параметра для принятия решения о состоянии объекта исходя из условия минимума средних затрат.

Выражение среднего риска имеет следующий вид:

$$R = C_{11}P_1 \int_{-\infty}^{x_0} f(x/D_1)dx + C_{21}P_1 \int_{x_0}^{\infty} f(x/D_1)dx + \\ + C_{12}P_2 \int_{-\infty}^{x_0} f(x/D_2)dx + C_{22}P_2 \int_{x_0}^{\infty} f(x/D_2)dx,$$

где диагноз D_1 — исправное состояние; D_2 — неисправное состояние; C_{21} — цена ложной тревоги; C_{12} — цена пропуска цели; C_{11} , C_{22} — цены правильных решений, которые для сравнения со стоимостью ошибок принимаются отрицательными.

Решения о состоянии объекта по методу минимального риска принимаются следующим образом:

$$x \in D_1, \text{ если } \frac{f(x/D_1)}{f(x/D_2)} > \frac{(C_{12} - C_{22})P_2}{(C_{21} - C_{11})P_1}, \\ x \in D_2, \text{ если } \frac{f(x/D_1)}{f(x/D_2)} > \frac{(C_{12} - C_{22})P_2}{(C_{21} - C_{11})P_1}.$$

Метод Неймана – Пирсона минимизирует вероятность ложной тревоги при сохранении определённого уровня вероятности обнаружения.

Метод Байеса — способ определения вероятности события (гипотезы) на основе косвенных подтверждений (данных), которые могут быть неточными. Он использует обобщённую формулу Байеса.

$$P(D_i/K^*) = \frac{P(D_i) \cdot P(K^*/D_i)}{\sum_{s=1}^n P(D_s) \cdot P(K^*/D_s)},$$

где $P(D_i/K^*)$ — условная вероятность диагноза D_i при наличии комплекса признаков K^* ; $P(K^*/D_i)$ — условная вероятность появления комплекса признаков K^* у объектов с состоянием D_i ; $P(D_i)$ — вероятность диагноза D_i , определяемая по статистическим данным (априорная вероятность); $P(D_s)$ — набор всех возможных диагнозов, вероятность которых в совокупности равна единице.

Наивный байесовский классификатор представляет собой критерий, основанный на теореме Бай-

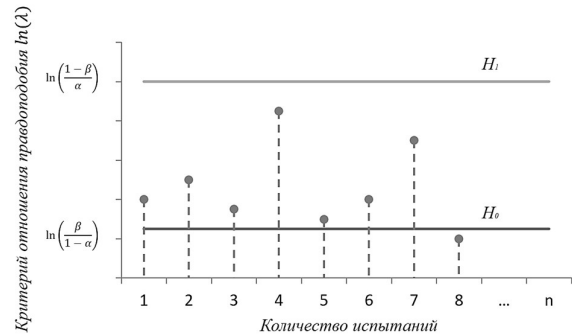


Рис. 2. Метод последовательного анализа Вальда:
 H_0, H_1 — нулевая и конкурирующая гипотезы;
 α, β — ошибки первого и второго рода соответственно
Fig. 2. Wald's sequential analysis method: H_0, H_1 — null and competing hypotheses; α, β — errors of the first and second types, respectively

еса при условии соблюдения строгой (наивной) независимости признаков.

Метод Вальда — способ принятия решений, при котором количество испытаний или обследований не устанавливается заранее.

Вместо этого испытания проводятся до тех пор, пока не будет достигнута определённая степень риска (рис. 2).

Критерий отношения правдоподобия записывается в следующем виде:

$$\lambda = \frac{P_1}{P_0} = \prod_{i=1}^n \frac{f(x_i, \theta_1)}{f(x_i, \theta_0)} \geq U_\alpha,$$

где $f(x_i, \theta_n)$ — плотность распределения случайной величины X при любом значении параметра θ ; если θ_n — параметр распределения, например, наработка на отказ, то θ_1 и θ_0 — соответственно допустимое и заданное значения наработки на отказ; U_α — квантиль функции нормального распределения.

Испытания завершаются и нулевая гипотеза H_0 будет принята, если

$$\sum_{j=1}^n \ln \left[\frac{f(x_j, \theta_1)}{f(x_j, \theta_0)} \right] \leq \ln \left(\frac{\beta}{1-\alpha} \right).$$

Испытания завершаются и конкурирующая гипотеза H_1 будет принята, если

$$\sum_{j=1}^n \ln \left[\frac{f(x_j, \theta_1)}{f(x_j, \theta_0)} \right] \geq \ln \left(\frac{1-\beta}{\alpha} \right).$$

Испытания будут продолжены в случае, если

$$\ln \left(\frac{\beta}{1-\alpha} \right) < \sum_{j=1}^n \ln \left[\frac{f(x_j, \theta_1)}{f(x_j, \theta_0)} \right] < \ln \left(\frac{1-\beta}{\alpha} \right).$$

Метод Сэвиджа, как и метод Вальда, является методом крайнего пессимизма. Он рекомендует выбирать оптимальную стратегию, при которой минимизируется величина максимального риска. Решение в данном методе принимается по тем же условиям, что и в методе Вальда.

Метод минимакса — частный случай критерия Байеса. Его используют для нахождения такой величины порога, при которой минимизируется максимум возможного риска. Это значит, что

априорные вероятности P_1 и P_2 подбираются таким образом, чтобы минимальное значение функции риска в «наихудшем случае» имело максимальную величину.

Если предположить, что величина риска зависит от x и P_1 (вероятность второго диагноза $P_2 = 1 - P_1$), то можно выразить следующую зависимость:

$$R(x, P_1) = C_{11}P_1 \int_{-\infty}^x f(x/D_1)dx + \\ + C_{21}P_1 \int_x^{\infty} f(x/D_1)dx + C_{12}(1 - P_1) \int_{-\infty}^x f(x/D_2)dx + \\ + C_{22}(1 - P_1) \int_x^{\infty} f(x/D_2)dx.$$

Приравняв к нулю частные производные по x и P_1 , получим

$$\frac{f(x/D_1)}{f(x/D_2)} = \frac{(C_{12} - C_{22})(1 - P)}{(C_{21} - C_{11})P}, \\ C_{21} \int_x^{\infty} f(x/D_1)dx + C_{11} \int_{-\infty}^x f(x/D_1)dx = \\ = C_{12} \int_x^{\infty} f(x/D_2)dx + C_{22} \int_{-\infty}^x f(x/D_2)dx.$$

Если x_0^* и P_1^* являются корнями указанных уравнений, то точка $R(x_0^*, P_1^*)$ является экстремальной. Таким образом, необходимо выбрать такую величину x_0 , чтобы при наименее благоприятных значениях P_1 потери, связанные с ошибочными решениями, были минимальными.

Метод Лапласа — метод, который используется для выбора оптимальной стратегии в условиях неопределённости. В данном случае предполагается, что все состояния равновероятны и оптимальной считается стратегия, обеспечивающая максимальный средний выигрыш.

ROC-анализ — метод, используемый для наглядного сравнения и оценки качества моделей бинарных классификаторов при различных пороговых значениях. ROC-анализ помогает выбрать оптимальную модель и отбросить неоптимальные независимо от затрат и распределения классов. Он тесно связан с анализом затрат и выгод при принятии диагностических решений.

ROC-кривая — график, отображающий соотношение между чувствительностью Se алгоритма классификации и частотой ложноположительных решений (значением $1 - Sp$ алгоритма) при пошаговом изменении порога решающего правила.

$$Se = TPR = \frac{TP}{P} = \frac{TP}{TP + FN} = 1 - \alpha,$$

$$1 - Sp = FPR = \frac{FP}{N} = \frac{FP}{FP + TN} = \beta,$$

где TP (true positive) — количество событий, правильно отнесённых к основной гипотезе; P — общее количество событий, имеющих место быть по основной (Positive) гипотезе; FN (false negative) — количество событий основной гипотезы, которые неправильно отнесены к конкурирующей гипотезе (ошибка первого рода без учёта априорной вероятности); FP — ложноположительные результаты; TN — истинно отрицательные результаты.

Таким образом, по вертикальной оси графика ROC-кривой представлена чувствительность $Se = 1 - \alpha$, а по горизонтальной — величина, равная $1 - Sp = \beta$.

Вероятностно-статистические методы могут обрабатывать признаки разной физической природы или механизмов формирования. Однако они требуют тщательной оценки вероятности каждого признака и неопределённости диагноза. Указанные методы могут значительно улучшить уровень решаемости задач и обеспечить высокую достоверность получаемых результатов [29].

Сегодня известно, что измерение и анализ вибрации (виброскорости, виброперемещения) широко используются в промышленности для мониторинга состояния различных машин, и они могут обнаруживать до 90 % неисправностей или отказов в машинах по изменению вибрационных сигналов [37].

Метод статистической диагностики агрегатов нефтеперерабатывающего комплекса предполагает совместное использование параметров виброускорения, виброскорости и виброперемещения. Этот метод обеспечивает точность постановки диагноза не менее 95–98 % [38]. Параметр виброускорения позволяет диагностировать дефекты оборудования в высокочастотном диапазоне спектра. Параметр виброскорости характеризует неисправности в диапазоне средних частот, а параметр виброперемещения отражает проблемы агрегата в низкочастотном диапазоне спектра [38, 39].

Использование статистических методов принятия решений позволяет оценить риск неисправностей и отказов, а также определить наиболее вероятное состояние оборудования, что является важным шагом в постановке диагноза и принятии обоснованных решений о ремонте или замене оборудования. Такой подход может включать в себя применение различных алгоритмов распознавания, таких как метод максимального правдоподобия, метод байесовской оценки, метод минимизации ошибки и др.

Так, точность оценки технического состояния электрооборудования может быть увеличена с помощью гибридной модели, сочетающей методы нечёткой логики и искусственных нейронных сетей. Интенсивность проявления каждого критерия и степень важности каждого состояния могут быть учтены с помощью метода Саати [40].

Для технической диагностики топливной аппаратуры с использованием виброакустических характеристик во время работы дизельного двигателя может быть использован метод Байеса. Применяя этот метод к диагностической матрице, можно определить влияние засорения сопел форсунки и износа топливного насоса на эффективность работы дизельного двигателя. При наличии выверенной статистики дефектов и их признаков метод Байеса обеспечивает высокую достоверность во время диагностирования и прогнозирования технического состояния различного оборудования [41].

Также метод Байеса может быть использован для распознавания диагнозов неисправности тягового двигателя локомотива в различных режимах работы и для диагностики технического состояния породоразрушающего инструмента [42, 43].

Компьютерный инструмент «Модельер 2.0», разработанный на факультете «Эксплуатация летательных аппаратов» Иркутского филиала Московского государственного технического университета граж-

Таблица 1. Системная классификация критериев технического состояния объектов при АЭ контроле [46]
Table 1. Systematic classification of criteria for the technical condition of objects under AE control [46]

Наименование критерия	Преимущества	Недостатки
Риск потребителя	Низкая стоимость АЭ контроля	Пропуск бракованных изделий, снижение эксплуатационной надёжности
Риск поставщика	Минимизация неблагоприятной ситуации и возможных потерь	Перебраковка годных изделий, повышение их себестоимости
Критерий идеального наблюдателя	Суммарный риск потребителя и поставщика	Стоимость перебраковки и недобраковки считается равной, хотя последствия их различны
Критерий минимума среднего риска	Исключение больших потерь при пропуске некачественных изделий	Высокая стоимость АЭ контроля
Среднеквадратичная ошибка контролируемого параметра	Возможность статистической обработки результатов	Необходимость разделения нестационарного процесса АЭ на ряд квазистационарных
Функция желательности Харрингтона	Приведение частных откликов к безразмерному виду	Субъективизм, привлечение априорной информации
Критерий Неймана – Пирсона	Не требуется априорной информации о вероятностях состояний	Необходимость знания допустимых вероятностей правильной и ложной классификации дефектов
Критерий максимального правдоподобия	Несложность вычислительных операций	Минимизация размерностей признакового пространства снижает достоверность заключений
Критерий апостериорной вероятности	Исключается необходимость использования матрицы потерь	Необходимость знания априорных вероятностей

данской авиации, позволяет принимать решения о текущем техническом состоянии авиационного оборудования с учётом фактических условий и технической политики авиакомпаний. Математический аппарат предложенного инструмента основан на последовательном анализе Вальда, байесовском подходе и критериях статистических решений (минимизации числа ошибочных решений, минимизации риска, наибольшего правдоподобия, минимакса, Неймана – Пирсона) [44].

Для диагностики неисправностей в топливных системах дизельных двигателей с помощью диагностической матрицы и виброакустических характеристик может быть использован метод последовательного анализа Вальда [45].

Для принятия решений о пригодности контролируемых изделий с помощью метода акустической эмиссии (АЭ) может быть использована системная классификация областей применения и рационального использования с учётом достоинств и недостатков критериев качества технического состояния объектов по источникам АЭ (табл. 1) [46].

Заключение

Проведённый анализ показал значимость вероятностно-статистических методов теории принятия решений для повышения достоверности диагностики промышленного оборудования. Установлено, что выбор оптимального метода определяется конкретной задачей, требованиями к системе диагностики и мониторинга, допустимыми вероятностями пропуска опасного состояния и ложной тревоги с учётом стоимости принимаемых решений.

В результате исследования сформулированы практические рекомендации по выбору метода на основе критериев.

1. Приоритет требования к надёжности:

— метод Вальда (последовательный анализ) следует выбирать для систем безопасности и критически важных объектов, где основным требованием является максимальное предотвращение опасных отказов (минимизация вероятности пропуска опасного состояния);

— метод Байеса рекомендуется для большинства стандартных задач диагностики, где требуется

сбалансированный подход, учитывающий как риски пропуска дефекта, так и экономические затраты на ложные тревоги.

2. Наличие и качество априорных данных:

— метод Байеса является предпочтительным при наличии устойчивой статистики, позволяющей достоверно оценить априорные и условные вероятности;

— метод Вальда более адаптивен в условиях дефицита априорной информации, так как делает акцент на последовательном накоплении данных в реальном времени.

Список источников / References

1. Костюков В. Н., Науменко А. П. Система контроля технического состояния машин возвратно-поступательно-го действия // Контроль. Диагностика. 2007. № 3. С. 50–58. EDN: HZEZYT.

Kostyukov V. N., Naumenko A. P. Sistema kontrolya tekhnicheskogo sostoyaniya mashin vozvratno-postupatel'nogo deystviya [The monitoring system of a technical condition of machines of reciprocating action]. Kontrol'. Diagnostika. *Journal of Russian Society for Non-Destructive Testing and Technical Diagnostics*. 2007. No. 3. P. 50–58. EDN: HZEZYT. (In Russ.).

2. Костюков В. Н., Науменко А. П. Система мониторинга технического состояния поршневых компрессоров нефтеперерабатывающих производств // Нефтепереработка и нефтехимия. Научно-технические достижения и передовой опыт. 2006. № 10. С. 38–47. EDN: HYODZL.

Kostyukov V. N., Naumenko A. P. Sistema monitoringa tekhnicheskogo sostoyaniya porshnevnykh kompressorov neftepererabatyvayushchikh proizvodstv [Monitoring system upon the technical condition of piston compressors on oil refining manufactures]. *Neftepererabotka i Neftekhimiya. Nauchno-tekhnicheskiye Dostizheniya i Peredovoy Opyt*. 2006. No. 10. P. 38–47. EDN: HYODZL. (In Russ.).

3. Дышлевский В. А. Причины отказов микроконтроллеров и способы повышения их безотказности // Научное сообщество студентов XXI столетия. Технические науки: сб. ст. по материалам XCVII студ. междунар. науч.-практ. конф. Новосибирск, 2021. С. 78–86. EDN: UWLQNY.

Dyshlevskiy V. A. Prichiny otkazov mikrokontrollerov i sposoby povysheniya ikh bezotkaznosti [The causes of

microcontroller failures and ways to improve their reliability]. *Nauchnoye Soobshchestvo Studentov XXI Stoletiya. Tekhnicheskiye Nauki*. Novosibirsk, 2021. P. 78–86. EDN: UWLQNY. (In Russ.).

4. Болотин В. В. Ресурс машин и конструкций. Москва: Машиностроение, 1990. 447 с. ISBN 521-700-84-07.

Bolotin V. V. Resurs mashin i konstruktsey [Resource of machines and structures]. Moscow, 1990. 447 p. ISBN 521-700-84-07. (In Russ.).

5. Бардышев О. А., Попов В. А., Коровин С. К., Филин А. Н. Мониторинг технического состояния технических устройств на опасных производственных объектах // Безопасность труда в промышленности. 2020. № 1. С. 52–56. DOI: 10.24000/0409-2961-2020-1-52-56. EDN: MNYKJP.

Bardyshev O. A., Popov V. A., Korovin S. K., Filin A. N. Monitoring tekhnicheskogo sostoyaniya tekhnicheskikh ustroystv na opasnykh proizvodstvennykh ob'yektakh [Monitoring of technical condition of technical devices at hazardous production facilities]. *Bezopasnost' truda v promyshlennosti. Occupational Safety in Industry*. 2020. No. 1. P. 52–56. DOI: 10.24000/0409-2961-2020-1-52-56. EDN: MNYKJP. (In Russ.).

6. Костюков В. Н., Наumenко А. П. Влияние человеческого фактора на оценку вероятности пропуска отказа системой мониторинга // В мире неразрушающего контроля. 2016. Т. 19, № 1. С. 72–77. EDN: VOFJLL.

Kostyukov V. N., Naumenko A. P. Vliyaniye chelovecheskogo faktora na otsenku veroyatnosti propuska otказа sistemoy monitoring [Human factor influence on the assessment of the monitoring system failure probability]. *V mire nerazrushayushchego kontrolya. Industrial Safety*. 2016. Vol. 19, no. 1. P. 72–77. EDN: VOFJLL. (In Russ.).

7. Костюков В. Н., Бойченко С. Н., Наumenко А. П. [и др.]. Риски мониторинга оборудования топливно-энергетического комплекса // Новое в российской электроэнергетике. 2014. № 3. С. 30–44. EDN: TEMIYN.

Kostyukov V. N., Boychenko S. N., Naumenko A. P. [et al.]. Riski monitoringa oborudovaniya toplivno-energeticheskogo kompleksa [Risks of monitoring fuel and energy complex equipment]. *Novoye v rossiyskoy elektroenergetike*. 2014. No. 3. P. 30–44. EDN: TEMIYN. (In Russ.).

8. Расследование аварии на ТЭЦ-3 АО «НТЭК» завершено // НКПРОМ. URL: <https://nkprom.ru/news/norilsk-rassledovanie-avarii-na-tets-3-ao-ntek-zaversheno/> (дата обращения: 01.09.2024).

Rassledovaniye avarii na TETs-3 AO «NTEK» zaversheno [The investigation of the accident at CHPP-3 of JSC NTEK has been completed]. *NKPROM*. URL: <https://nkprom.ru/news/norilsk-rassledovanie-avarii-na-tets-3-ao-ntek-zaversheno/> (accessed: 01.09.2024). (In Russ.).

9. Решение Арбитражного суда Красноярского края от 12 февраля 2021 г. по делу N A33-27273/2020. URL: <https://ohranatruda.ru/upload/medialibrary/1a2/Reshenie-po-delu-A33-27273-2020.pdf> (дата обращения: 01.09.2024).

Resheniye Arbitrazhnogo suda Krasnoyarskogo kraya ot 12 fevralya 2021 g. po delu N A33-27273/2020 [Decision of the Arbitration Court of the Krasnoyarsk Territory dated February 12, 2021 in case No. A33-27273/2020]. URL: <https://ohranatruda.ru/upload/medialibrary/1a2/Reshenie-po-delu-A33-27273-2020.pdf> (accessed: 01.09.2024). (In Russ.).

10. Акт технического расследования причин аварии, произошедшей 17 августа 2009 года в филиале Открытого Акционерного Общества «РусГидро» — «Саяно-Шушенская ГЭС имени П. С. Непорожного». Москва: Ростехнадзор, 2009. 123 с.

Akt tekhnicheskogo rassledovaniya prichin avarii, proishedshey 17 avgusta 2009 goda v filiale Otkrytogo Aktsionernogo Obshchestva «RusGidro» — «Sayano-Shushenskaya GES imeni P. S. Neporozhnogo» [Act of technical investigation of the causes of the accident that occurred on August 17, 2009 in the branch of the Open Joint Stock Company «RusHydro» — Sayano-Shushenskaya HPP named after P. S. Neporozhnyy]. Moscow, 2009. 123 p. (In Russ.).

11. Матевосян Г. А., Долгушина Л. В. Прогнозирование обстановки при аварийных ситуациях на Ачинском НПЗ // Мониторинг, моделирование и прогнозирование опасных природных явлений и чрезвычайных ситуаций: сб. материалов X Всерос. науч.-практ. конф. Железногорск, 2020. С. 151–154. EDN: RRCGHH.

Matevosyan G. A., Dolgushina L. V. Prognozirovaniye obstanovki pri avariynnykh situatsiyakh na Achinskoye NPZ [Forecasting of emergency situations at the Achinsk Oil Refinery]. *Monitoring, Modelirovaniye i Prognozirovaniye Opasnykh Prirodnnykh Yavleniy i Chrezvychaynykh Situatsiy. Zheleznogorsk*, 2020. P. 151–154. EDN: RRCGHH. (In Russ.).

12. ГОСТ Р 27.102–2021. Надёжность в технике. Надёжность объекта. Термины и определения. Введ. 01–01–2022. Москва: Российский институт стандартизации, 2021. 40 с.

GOST R 27.102–2021. Nadezhnost' v tekhnike. Nadezhnost' ob'yekta. Terminy i opredeleniya [Dependability in technics. Dependability of item. Terms and definitions]. Moscow, 2021. 40 p. (In Russ.).

13. Болдырев А. С. Основные понятия теории принятия решений // Вестник Санкт-Петербургского университета МВД России. 2013. Т. 57, № 1. С. 87–91. EDN: QBEBEL.

Boldyrev A. S. Osnovnyye ponyatiya teorii prinyatiya resheniy [The basic concepts of decision theory]. *Vestnik Sankt-Peterburgskogo universiteta MVD Rossii. Vestnik of the St. Petersburg University of the Ministry of Internal Affairs of Russia*. 2013. Vol. 57, no. 1. P. 87–91. EDN: QBEBEL. (In Russ.).

14. Кузнецов Ю. В. Проблемы теории и практики менеджмента. Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский государственный университет, 1994. 206 с.

Kuznetsov, Yu. V. Problemy teorii i praktiki menedzhmenta [Problems of theory and practice of management]. Saint-Petersburg, 1994. 206 p. (In Russ.).

15. Fountzoula C., Aravossis K. Decision-making methods in the public sector during 2010–2020: A systematic review, advances in operations research. 2022. P. 1–13. DOI: 10.1155/2022/1750672.

16. Ильинских Е. Н., Филатова Е. Н., Самойлов К. В. [и др.]. Применение алгоритма дерева решений для ранней дифференциальной диагностики между различными клиническими формами острого иксодового клещевого боррелиоза и клещевого энцефалита // Эпидемиология и инфекционные болезни. 2023. Т. 28, № 5. С. 275–288. DOI: 10.17816/EID601806. EDN: PBJRBT.

Il'inskikh E. N., Filatova E. N., Samoylov K. V. [et al.]. Primeneniye algoritma dereva resheniy dlya ranney differentsial'noy diagnostiki mezhdru razlichnymi klinicheskimi formami ostrogo iksodovogo kleshchevogo borrelioz i kleshchevogo entsefalita [Applying decision tree algorithms to early differential diagnosis between different clinical forms of acute lyme borreliosis and tick-borne encephalitis]. *Epidemiologiya i infektsionnyye bolezni. Epidemiology and Infectious Diseases*. 2023. Vol. 28, no. 5. P. 275–288. DOI: 10.17816/EID601806. EDN: PBJRBT. (In Russ.).

17. Вафин Р. Р., Динисламова Р. Р., Зулкарнеев Р. Х. Построение модели принятия врачебных решений для дифференциальной диагностики заболеваний в форме дерева решений // Информационные технологии интеллектуальной поддержки принятия решений: труды VII Всерос. науч. конф. Уфа, 2019. С. 255–260. EDN: AJERHR.

Vafin R. R., Dinislamova R. R., Zulkarneyev R. Kh. Postroyeniye modeli prinyatiya vrachebnykh resheniy dlya differentsial'noy diagnostiki zabolevaniy v forme dereva resheniy [Creating a model of medical decision-making for differential diagnosis of diseases in the form of a decision tree]. *Informatsionnyye Tekhnologii Intelktual'noy Podderzhki Prinyatiya Resheniy*. Ufa, 2019. P. 255–260. EDN: AJERHR. (In Russ.).

18. Ahmed S. Evaluation of serum ferritin for prediction of severity and mortality in COVID-19-A cross sectional study. *Annals of Medicine and Surgery*. 2021. Vol. 63. P. 102–163. DOI: 0.1016/j.amsu.2021.02.009.

19. Pfof A., Lu S. C., Sidey-Gibbons C. Machine learning in medicine: a practical introduction to techniques for data preprocessing, hyperparameter tuning, and model comparison. *BMC Medical Research Methodology*. 2022. Vol. 22, no. 1. P. 282. DOI: 10.1186/s12874-022-01758-8.
20. Ромодановский Д. П., Хохлов А. Л. Возможность прогнозирования результатов исследований биоэквивалентности на основе последовательного статистического анализа информативных факторов // Качественная клиническая практика. 2020. № 1. С. 80–98. DOI: 10.37489/2588-0519-2020-1-80-99. EDN: DTQTIU.
- Romodanovskiy D. P., Khokhlov A. L. Vozmozhnost' prognozirovaniya rezul'tatov issledovaniy bioekvivalentnosti na osnove posledovatel'nogo statisticheskogo analiza informativnykh faktorov [The ability to predict the results of bioequivalence studies based on a consistent statistical analysis of informative factors]. *Kachestvennaya klinicheskaya praktika. Good Clinical Practice*. 2020. No. 1. P. 80–98. DOI: 10.37489/2588-0519-2020-1-80-99. EDN: DTQTIU. (In Russ.).
21. McNamara T. P., Chen X. Bayesian decision theory and navigation. *Psychonomic Bulletin and Review*. 2022. Vol. 29, no. 3. P. 721–752. DOI: 10.3758/s13423-021-01988-9.
22. Perera L. P., Carvalho J. P., Guedes Soares C. Fuzzy logic based decision making system for collision avoidance of ocean navigation under critical collision conditions. *Journal of Marine Science and Technology*. 2011. Vol. 16. P. 84–99. DOI: 10.1007/s00773-010-0106-x.
23. Дровникова И. Г., Золотых Е. С. Методический подход к оценке вероятности реализации сетевых атак на объектах информатизации органов внутренних дел // Вестник Воронежского института МВД России. 2023. № 4. С. 33–44. EDN: VONOPW.
- Drovnikova I. G., Zolotykh E. S. Metodicheskiy podkhod k otsenke veroyatnosti realizatsii setevykh atak na ob'yektakh informatizatsii organov vnutrennikh del [Methodological approach to assessing the probability of network attacks on the objects of informatization of internal affairs bodies]. *Vestnik Voronezhskogo instituta MVD Rossii. Vestnik of Voronezh Institute of the Ministry of the Interior of Russia*. 2023. No. 4. P. 33–44. EDN: VONOPW. (In Russ.).
24. Хохлова А. Е., Бакланова О. Е., Тезекпаева Ш. Т. Применение метода наивного Байеса при решении задачи фильтрации спама // Вестник ВКТУ. 2024. № 2. DOI: 10.51885/1561-4212_2024_2_210.
- Khokhlova A. E., Baklanova O. E., Tezekpayeva Sh. T. Primeneniye metoda naivnogo Bayesa pri reshenii zadachi fil'tratsii spama [Application of the naive bayes method in solving the spam filtering problem]. *Vestnik VKTU. Bulletin of D. Serikbayev East Kazakhstan Technical University*. 2024. No. 2. DOI: 10.51885/1561-4212_2024_2_210. (In Russ.).
25. Hazra T., Anjaria K. Applications of game theory in deep learning: a survey. *Multimedia Tools and Applications*. 2022. Vol. 81. P. 8963–8994. DOI: 10.1007/s11042-022-12153-2.
26. Науменко А. П. Научно-методические основы вибродиагностического мониторинга поршневых машин в реальном времени: дисс. ... д-ра техн. наук. Омск: Изд-во ОмГТУ, 2012. 423 с.
- Naumenko A. P. Nauchno-metodicheskiye osnovy vibrodiagnosticheskogo monitoringa porshnevyykh mashin v real'nom vremeni [Scientific and methodological foundations of vibration diagnostic monitoring of reciprocating machines in real time]. *Omsk*, 2012. 423 p. (In Russ.).
27. Костюков В. Н., Науменко А. П. Основы виброакустической диагностики и мониторинга машин. Омск: Изд-во ОмГТУ, 2011. 360 с. ISBN 978-5-8149-1101-8. EDN: QMHFH.
- Kostyukov V. N., Naumenko A. P. Osnovy vibroakusticheskoy diagnostiki i monitoringa mashin [Fundamentals of vibroacoustic diagnostics and monitoring of machines]. *Omsk*, 2011. 360 p. ISBN 978-5-8149-1101-8. EDN: QMHFH. (In Russ.).
28. Орлов А. И. Основные идеи контроллинга статистических методов // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2025. № 210. С. 317–347. DOI: 10.21515/1990-4665-210-033. EDN: TBBTIC.
- Orlov A. I. Osnovnyye idei kontrollinga statisticheskikh metodov [The main ideas of statistical methods controlling]. *Politematicheskiy setevoy elektronnyy nauchnyy zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. Polythematic Online Scientific Journal of Kuban State Agrarian University*. 2025. No. 210. P. 317–347. DOI: 10.21515/1990-4665-210-033. EDN: TBBTIC. (In Russ.).
29. Кудрявцева И. С., Науменко А. П., Дышлевский В. А., Рольгейзер В. А. Вероятностно-статистические методы принятия решений: применение ROC-анализа в технической диагностике // Контроль. Диагностика. 2025. Т. 28, № 8 (326). С. 4–17. DOI: 10.14489/td.2025.08.pp.004-017. EDN: REQULO.
- Kudryavtseva I. S., Naumenko A. P., Dyshlevskiy V. A., Rol'geyzer V. A. Veroyatnostno-statisticheskiye metody prinyatiya resheniy: primeneniye ROC-analiza v tekhnicheskoy diagnostike []. *Kontrol'. Diagnostika. Journal of Russian Society for Non-Destructive Testing and Technical Diagnostics*. 2025. Vol. 28. No. 8 (326). P. 4–17. DOI: 10.14489/td.2025.08.pp.004-017. EDN: REQULO. (In Russ.).
30. Кудрявцева И. С., Науменко А. П., Демин А. М., Одинец А. И. Вероятностно-статистический критерий оценки состояния по параметрам виброакустического сигнала // Динамика систем, механизмов и машин. 2019. Т. 7, № 2. С. 113–122. DOI: 10.25206/2310-9793-7-2-113-122. EDN: EYLIAI.
- Kudryavtseva I. S., Naumenko A. P., Demin A. M., Odinets A. I. Veroyatnostno-statisticheskiy kriteriy otsenki sostoyaniya po parametram vibroakusticheskogo signala [Probabilistic and statistical criterions for assessing the condition by vibroacoustic signal parameters]. *Dinamika sistem, mekhanizmov i mashin. Dynamics of Systems, Mechanisms and Machines*. 2019. Vol. 7, no. 2. P. 113–122. DOI: 10.25206/2310-9793-7-2-113-122. EDN: EYLIAI. (In Russ.).
31. Демин А. М., Науменко А. П., Одинец А. И., Горчакова А. А. Оценка вероятностных ошибок контроля состояния теплообменного оборудования // Динамика систем, механизмов и машин. 2019. Т. 7, № 2. С. 95–103. DOI: 10.25206/2310-9793-7-2-95-103. EDN: KJPDXY.
- Demin A. M., Naumenko A. P., Odinets A. I., Gorchakova A. A. Otsenka veroyatnostnykh oshibok kontrolya sostoyaniya teploobmennogo oborudovaniya [Probability mistakes evaluation of the heat-exchange equipment condition monitoring]. *Dinamika sistem, mekhanizmov i mashin. Dynamics of Systems, Mechanisms and Machines*. 2019. Vol. 7, no. 2. P. 95–103. DOI: 10.25206/2310-9793-7-2-95-103. EDN: KJPDXY. (In Russ.).
32. Блягоз З. У., Попова А. Ю. Принятие решений в условиях риска и неопределенности // Вестник Адыгейского государственного университета. 2006. № 4. С. 164–168. EDN: KAOVEZ.
- Blyagoz Z. U., Popova A. Yu. Prinyatiye resheniy v usloviyakh riska i neopredelennosti [Decision-making in conditions of risk and uncertainty]. *Vestnik Adygeyskogo Gosudarstvennogo Universiteta*. 2006. No. 4. P. 164–168. EDN: KAOVEZ. (In Russ.).
33. Fawcett T. An introduction to the condition by ROC analysis. *Pattern Recognition Letters*. 2006. Vol. 27, № 8. P. 861–874. DOI: 10.1016/j.patrec.2005.10.010.
34. Stehman S. V. Selecting and interpreting measures of thematicclassification accuracy. *Remote Sensing of Environment*. 1997. Vol. 62, № 1. P. 77–89. DOI: 10.1016/S0034-4257(97)00083-7.
35. Narayanan V., Arora I., Bhatia A. Fast and Accurate sentiment classification using an enhanced Naive Bayes Model. *Lecture Notes in Computer Science*. 2013. P. 194–201. DOI: 10.1007/978-3-642-41278-3_24.

36. Wu X., Kumar V., Quinlan J. R., Ghosh J. [et al.]. Top 10 algorithms in data mining. *Knowledge and Information Systems*. 2007. Vol. 14, № 1. P. 1–37. DOI: 10.1007/s10115-007-0114-2.
37. Malla C., Panigrahi I. Review of condition monitoring of rolling element bearing using vibration analysis and other techniques. *Journal of Vibration Engineering and Technologies*. 2019. Vol. 7. P. 407–414. DOI: 10.1007/s42417-019-00119-y.
38. Костюков В. Н. Разработка элементов теории, технологии и оборудования систем мониторинга агрегатов нефтехимических комплексов: автореф. дис. ... д-ра техн. наук. Москва, 2001. 21 с.
- Kostyukov V. N. *Razrabotka elementov teorii, tekhnologii i oborudovaniya sistem monitoringa agregatov neftekhimicheskikh kompleksov* [Development of elements of theory, technology and equipment of monitoring systems for aggregates of petrochemical complexes]. Moscow, 2001. 21 p. (In Russ.).
39. Петрухин В. В., Петрухин С. В. Вибрация, вибродиагностика и ... ЭЦН: монограф. Москва: Русайнс, 2022. 186 с. ISBN 978-5-466-01822-6. EDN: NKDSWO.
- Petrukhin V. V., Petrukhin S. V. *Vibratsiya, vibrodiagnostika i ... ETsN* [Vibration, vibration diagnostics and ... EDCP]. Moscow, 2022. 186 p. ISBN 978-5-466-01822-6. EDN: NKDSWO. (In Russ.).
40. Dmitriev S. A., Khalyasmaa A. I. Power equipment technical state assessment principles. *Applied Mechanics and Materials*. 2014. Vol. 492. P. 531–535. DOI: 10.4028/www.scientific.net/AMM.492.531.
41. Кирдищев Д. В. Применение метода Байеса при выявлении дефектов топливной аппаратуры по виброакустическим характеристикам во время работы дизеля // Вестник Гомельского государственного технического университета им. П. О. Сухого. 2021. Т. 4, № 1. С. 92–99. EDN: MMINUO.
- Kirdishchev D. V. *Primeneniye metoda BayYesa pri vyyavlenii defektov toplivnoy apparatury po vibroakusticheskim kharakteristikam vo vremya raboty dizelya* [Application of the bayes method for detecting defects in fuel equipment by vibroacoustic characteristics during the operation of a diesel engine]. Vestnik Gomel'skogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta im. P. O. Sukhogo. *Bulletin of Sukhoi State Technical University of Gomel*. 2021. Vol. 4, no. 1. P. 92–99. EDN: MMINUO. (In Russ.).
42. Губарев П. В., Шашал А. С., Шабаяев В. В. Распознавание диагнозов неисправности технической системы // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2020. № 10. С. 322–326. EDN: OPXBXB.
- Gubarev P. V., Shapshal A. S., Shabayev V. V. *Raspoznavaniye diagnostov neispravnosti tekhnicheskoy sistemy* [Recognition of fault diagnoses technical system]. Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. *Tekhnicheskiye nauki. News of the Tula State University. Technical Sciences*. 2020. No. 10. P. 322–326. EDN: OPXBXB. (In Russ.).
43. Грунтович Н. В., Кирдищев Д. В. Применение метода Вальда при выявлении дефектов топливных форсунок дизеля // Проблемы энергообеспечения, автоматизации, информатизации и природопользования в АПК: сб. мат. междунар. науч.-тех. конф. Брянск, 2023. С. 99–105. EDN: VHKTG.
- Gruntovich N. V., Kirdishchev D. V. *Primeneniye metoda Val'da pri vyyavlenii defektov toplivnykh forsunok dizelya*. *Problemy Energoobespecheniya, Avtomatizatsii, Informatizatsii i Prirodopol'zovaniya v APK*. Bryansk, 2023. P. 99–105. EDN: VHKTG. (In Russ.).
44. Чокоей В. З. Инструменты принятия диагностических решений по объектам авиатехники в условиях неопределённости и риска // Crede Experto: транспорт, общество, образование, язык. 2016. № 2. С. 20–31. EDN: WAQOVV.
- Chokoy V. Z. *Instrumenty prinyatiya diagnosticheskikh resheniy po ob'yektam aviatekhniki v usloviyakh neopredelannosti i riska* [Tools of non-parametric estimate of aircraft equipment reliability with censored data]. Crede Experto: transport, obshchestvo, obrazovaniye, yazyk. *Crede Experto: Transport, Society, Education, Language*. 2016. No. 2. P. 20–31. EDN: WAQOVV. (In Russ.).
45. Ямалиев В. У., Мамалимова И. Р. Статистический подход при оценке технического состояния породоразрушающего инструмента // Материалы 47-й Всерос. науч.-техн. конф. молодых ученых, аспирантов и студентов с междунар. участием. Октябрьский: Уфимский государственный нефтяной технический университет, 2020. С. 712–715. EDN: OAYHED.
- Yamaliyev V. U., Mamalimova I. R. *Statisticheskiy podkhod pri otsenke tekhnicheskogo sostoyaniya porodorazrushayushchego instrumenta* [Statistical approach to evaluating the technical condition of the breeding destructing instrument]. *Materialy 47-y Vseros. Nauch.-Tekhn. Konf. Molodykh Uchenykh, Aspirantov i Studentov s Mezhdunar. Uchastiyem*. Oktabrskiy, 2020. P. 712–715. EDN: OAYHED. (In Russ.).
46. Марасанов В. В., Шарко А. О., Шарко О. В. Системная классификация критериев оценки технического состояния объектов по источникам акустических сигналов // Вестник Херсонского национального технического университета. 2016. Т. 56, № 1. С. 51–60. EDN: WBKHVD.
- Marasnov V. V., Shariko A. O., Shariko O. V. *Sistemnaya klassifikatsiya kriteriyev otsenki tekhnicheskogo sostoyaniya ob'yektov po istochnikam akusticheskikh signalov* [System classification criteria of estimation the technical state of objects on sources of acoustic signals]. Vestnik Khersonskogo natsional'nogo tekhnicheskogo universiteta. *Visnyk of Kherson National Technical University*. 2016. Vol. 56, no. 1. P. 51–60. EDN: WBKHVD. (In Russ.).
-
- ДЫШЛЕВСКИЙ Вячеслав Александрович**, аспирант кафедры «Радиотехнические устройства и системы диагностики» Омского государственного технического университета (ОмГТУ), г. Омск; научный сотрудник ООО «ВС инжиниринг», г. Омск.
SPIN-код: 4433-7455
AuthorID (РИНЦ): 1262001
ORCID: 0009-0002-2207-7423
Адрес для переписки: dva_08_99@mail.ru
- КУДРЯВЦЕВА Ирина Сергеевна**, канд. техн. наук, доцент кафедры «Радиотехнические устройства и системы диагностики» ОмГТУ, г. Омск.
SPIN-код: 5117-9041
AuthorID (РИНЦ): 797354
ORCID: 0000-0003-1627-667X
Адрес для переписки: s_iren@mail.ru
- НАУМЕНКО Александр Петрович**, д-р техн. наук, профессор (Россия), профессор кафедры «Радиотехнические устройства и системы диагностики» ОмГТУ, г. Омск.
SPIN-код: 2568-5406
AuthorID (РИНЦ): 243994
ORCID: 0000-0002-0583-7809
Адрес для переписки: arnaumenko@omgtu.ru
- РОЛЬГЕЙЗЕР Варвара Андреевна**, аспирант кафедры «Радиотехнические устройства и системы диагностики» ОмГТУ, г. Омск; старший преподаватель Омского государственного университета путей сообщения, г. Омск.
SPIN-код: 3389-2580
AuthorID: 1287111
ORCID: 0009-0003-2301-8369
Адрес для переписки: chanel-gerl@mail.ru
- Прозрачность финансовой деятельности:** авторы не имеют финансовой заинтересованности в представленных материалах и методах. Конфликт интересов отсутствует.
- Статья поступила в редакцию 25.04.2025; одобрена после рецензирования 15.10.2025; принята к публикации 30.10.2025.

DYSHLEVSKIY Vyacheslav Aleksandrovich, Postgraduate of the Radio Engineering Devices and Diagnostic Systems Department, Omsk State Technical University (OmSTU), Omsk; Researcher, LLC "VS Engineering", Omsk.

SPIN-code: 4433-7455

AuthorID (RSCI): 1262001

ORCID: 0009-0002-2207-7423

Correspondence address: dva_08_99@mail.ru

KUDRYAVTSEVA Irina Sergeyevna, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Radio Engineering Devices and Diagnostic Systems Department, OmSTU, Omsk.

SPIN-код: 5117-9041

AuthorID (RSCI): 797354

ORCID: 0000-0003-1627-667X

Correspondence address: s_iren@mail.ru

NAUMENKO Aleksandr Petrovich, Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Radio Engineering Devices and Diagnostic Systems Department, OmSTU, Omsk.

SPIN-code: 2568-5406

AuthorID (RSCI): 243994

ORCID: 0000-0002-0583-7809

Correspondence address: apnaumenko@omgtu.ru

ROLGEYZER Varvara Andreyevna, Postgraduate of the Radio Engineering Devices and Diagnostic Systems Department, OmSTU, Omsk; Senior Lecturer, Omsk State University of Railway Transport, Omsk.

SPIN-код: 3389-2580

AuthorID (RSCI): 1287111

ORCID: 0009-0003-2301-8369

Correspondence address: chanel-gerl@mail.ru

Financial transparency: the authors have no financial interest in the presented materials or methods. There is no conflict of interest.

The article was submitted 25.04.2025; approved after reviewing 15.10.2025; accepted for publication 30.10.2025.