

УДК 629.3.083

КОМПЛЕКСНЫЙ МЕТОД МОДЕЛИРОВАНИЯ ПАРАМЕТРОВ КАЧЕСТВА АВТОНОМНОГО ТРАНСПОРТНОГО СРЕДСТВА

© 2025 С.В. Сусарев

Самарский государственный технический университет, г. Самара, Россия

Статья поступила в редакцию 04.04.2025

Современные автономные транспортные системы, интегрирующие IoT и ИИ, требуют комплексной оценки качества для обеспечения надежности и эффективности. Основу оценки составляют три типа данных: объективные, косвенные и расчетные. Эти данные проходят многоэтапную обработку: нормализацию, фильтрацию шумов, выделение ключевых параметров и интеграцию в единую хронологическую модель. Ключевыми подходами к оценке надежности являются прогнозирование безотказности и расчет остаточного ресурса. Модель, основанная на нормальном распределении отказов, эффективна в стабильных условиях, но ограничена при динамических нагрузках. Альтернативная модель связывает ресурс с коэффициентами сложности эксплуатации, определяемыми экспертными методами, что обеспечивает гибкость в условиях неполноты данных. Интеграция данных, современных алгоритмов и гибких моделей позволяет повысить надежность автономного транспорта, сократив затраты на обслуживание. Дальнейшее развитие требует международной стандартизации и внедрения инновационных решений для работы в динамических условиях.

Ключевые слова: конкурентоспособность, качество, автомобиль.

DOI: 10.37313/1990-5378-2025-27-2-74-80

EDN: GCKYSS

Современные тенденции развития промышленного транспорта тесно связаны с интеграцией автономных систем и технологий Интернета вещей. Эти инновации трансформируют логистику, управление и обслуживание транспортных средств, обеспечивая новые уровни эффективности, безопасности и устойчивости [1, 2].

Автономные роботизированные транспортные системы представляют собой интегрированные платформы, где физические устройства тесно взаимодействуют с цифровыми системами. Так в роли физических устройств могут выступать роботы, транспортные средства, датчики, а в роли цифровых систем – алгоритмы ИИ, облачные вычисления, IoT-сети. Ключевая особенность таких систем – наличие бортовой подсистемы измерений с большим числом датчиков, постоянный удаленный мониторинг режимов эксплуатации и технического состояния агрегатов и управление группами автономных транспортных средств.

Высокая стоимость роботизированных транспортных средств обуславливает необходимость разработки и внедрения технологий, которые гарантируют их максимальную надежность и долговечность. Кроме надежности, важным аспектом также является обеспечение ремонтнопригодности транспортных средств, чтобы в случае необходимости устранения неисправностей или модернизации ключевых узлов и систем можно было выполнять данные процедуры в максимально короткие сроки и с минимальными затратами.

В связи с этим актуальна задача организации технического обслуживания и ремонта и управление остаточным ресурсом автономных транспортных средств [3]. Перспективное направление в рамках концепции Индустрия 5.0 – переход от превентивного технического обслуживания к прогнозируемому обслуживанию, что позволяет уменьшить вероятность выхода из строя роботизированных автомобилей и снизить стоимость обслуживания.

Современные исследования в области удаленной диагностики транспортных средств, основанной на моделях, охватывают три ключевых направления:

- системы хранения и первичной обработки данных на борту транспортного средства;
- системы, обеспечивающие обмен и передачу данных между различными компонентами транспортного средства и внешними устройствами;
- системы обработки информации, базирующиеся на моделиориентированном подходе.

В иностранных научных источниках бортовые модули сбора, сохранения и предварительной обработки информации рассматриваются как специализированные решения для базовой обработки эксплуатационных и технических метрик транспортных средств. Начальный этап работы с данными предполагает их алгоритмическое упорядочивание [4], выборочную подготовку [5, 6], направ-

Сусарев Сергей Васильевич, кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой. E-mail: susarev_sergey@mail.ru

ленные на оптимизацию последующей передачи и углубленного анализа. Принципы построения таких интегрированных систем сбора информации уже детально исследованы в научной работе [7]. Ключевой задачей выступает определение требуемого объема защищенной оперативной и постоянной памяти бортовых электронных систем, обеспечивающей хранение и обработку данных [8]

Обмен и передача данных между различными компонентами транспортного средства и внешними устройствами может быть организован через публичные сети с применением облачных технологий, при этом современные вычислительные ресурсы гарантируют стабильность передачи информации без критических отказов. В качестве перспективного направления выделяется разработка унифицированной архитектуры бортовых коммуникационных модулей [9], обеспечивающей интеграцию с мобильными устройствами и сетевыми платформами для предоставления первичной или обработанной информации участникам процесса эксплуатации транспортного средства. Параллельно реализуется расширение зоны покрытия сетевой инфраструктурой, охватывающей дорожные магистрали и прилегающие территории, что создает основу для повсеместного внедрения систем V2X (Vehicle-to-Everything), включая взаимодействие с облачными сервисами и элементами дорожной инфраструктуры.

Системы обработки информации, основанные на модели ориентированном подходе, делятся на два основных типа. Первый тип использует нейронные сети для прогнозирования износа деталей, анализируя закономерности в больших массивах информации. Второй тип применяет структурные методы, такие как деревья отказов и матрицы причинно-следственных связей, чтобы выявлять ранние признаки неисправностей [10, 11]. Традиционные методы оценки износа опираются на динамические модели, которые учитывают данные о движении транспортного средства (разгоны, торможения) и его технических параметрах. Эти модели включают в себя специальные алгоритмы, отслеживающие расхождения между расчетными и реальными значениями в разных режимах работы. На основе анализа этих отклонений эксперты определяют риски для узлов и систем транспортного средства [12–14].

Использование нейронных сетей для автоматического мониторинга износа требует наличия множества однотипных транспортных средств. Однако такой подход [15] остается перспективным для стандартизированных решений, где конструкция и технологии унифицированы.

В рамках российских научных исследований основное внимание уделяется вопросам определения оптимальных сроков эксплуатации автомобилей, направленного на соблюдение современных требований к надёжности, конструктивной и экологической безопасности роботизированных транспортных средств [16, 17]. Ключевым инструментом контроля выступает диагностика — метод оценки технического состояния узлов и агрегатов без их разборки. Данный подход интегрирован в технологические процессы технического обслуживания и ремонта, обеспечивая сбор исходных данных о состоянии автомобиля [18].

Современные разработки в этой области включают интеллектуальные системы диагностики роботизированных автомобилей, описанные в работе [8], которые используют алгоритмы машинного обучения для анализа параметров работы систем. Кроме того, в исследованиях [19, 20] предложены научные методы формирования адаптивных алгоритмов оптимизации сервисных процессов. Эти методы учитывают многокритериальные требования к эффективности транспортных средств в различных условиях эксплуатации, что нашло отражение в разработанной модели оценки показателей на основе комплексной структуры критериев.

Система управления качеством единичного автономного транспортного средства включает алгоритмы оценки качества, технического состояния и остаточного ресурса, основанные на анализе объективных, косвенных и расчетных данных.

Рассмотрим ключевые аспекты моделирования такой системы управления качеством (рисунок 1).

Источниками данных для оценки являются:

- объективные данные, включающие параметры динамики (ускорение, торможение, угловые скорости) и показатели датчиков (температура двигателя, давление в шинах, уровень топлива);
- косвенные данные, включающие историю эксплуатации (пробег, частота ТО, ремонтные работы) и условия эксплуатации (дорожное покрытие, климатические факторы);
- расчетные данные, включающие прогнозирование износа узлов на основе моделей деградации (нейросетевые и аналитические методы).

Процесс обработки данных включает три основных этапа, направленных на подготовку информации для последующего анализа:

- подготовка данных, включающая нормализацию для приведения разнородных данных к единому формату для обеспечения согласованности и фильтрацию для устранения шумов, ошибок и аномалий, которые могут исказить результаты. Применяются методы сглаживания и проверки на соответствие физическим ограничениям;



Рисунок 1 – Схема оценки качества единичного автономного транспортного средства

- выделение ключевых параметров, включающее выбор наиболее значимых показателей, которые напрямую влияют на оценку технического состояния. Для этого используются методы анализа важности признаков и экспертная оценка значимости параметров;

- интеграция данных, включающая сопоставление данных по временным меткам для создания единой хронологической последовательности и формирование комплексного набора данных.

Процесс анализа направлен на выявление ключевых закономерностей и формирование прогнозов для поддержки управленческих решений. Он включает два основных этапа:

- факторный анализ влияющих параметров направленный на определение факторов, влияющих на техническое состояние и надежность транспортного средства. Включает в себя идентификацию взаимосвязей для выявления корреляций между параметрами, ранжирование факторов для оценки степени влияния каждого параметра и интерпретацию результатов для формулировки выводов о критических факторах, требующих контроля.

- прогнозирование технического состояния направленный на оценку остаточного ресурса компонентов и предсказание потенциальных отказов. Включает в себя обучение моделей для настройки алгоритмов прогнозирования, интеграцию данных для совместного анализа объективных, кос-

венных и расчетных параметров и формирование прогнозов для расчета вероятности безотказной работы и оценки времени до критического износа.

На этапе принятия решений система формирует рекомендации, направленные на поддержание работоспособности транспортного средства и предотвращение отказов. Процесс включает следующие этапы:

- подготовка рекомендаций, предназначенная для преобразования результатов анализа данных в конкретные управляющие действия. Включает интерпретацию данных для оценки уровня износа компонентов и анализ прогнозов остаточного ресурса, приоритизацию для ранжирования задач по степени критичности и формирование рекомендаций для автоматической генерации советов на основе предустановленных правил или ML-моделей;

- потенциальные действия, предназначенные для выполнения следующих типов действий: профилактические работы – при отсутствии критических отклонений, но наличии рисков; техническое обслуживание (ТО) – при плановом износе и приближении к границе ресурса; ремонт – при выявлении критических неисправностей или высокого риска отказа;

- реализация решений заключается в выдаче уведомлений: сервисная служба автоматически формирует заявку на ремонт. Система переводит аналитические выводы в конкретные действия, минимизируя простои и повышая безопасность.

Предложен интегрированный подход к моделированию параметров качества автономных транспортных средств, объединяющий следующие методики:

Аналитический подход – определение коэффициентов, отражающих сложность эксплуатации элементов, систем и узлов в различных условиях (дорожное покрытие, климат, режимы движения);

Программно-аналитический подход – идентификация переходных процессов в динамике транспортного средства и расчет корреляционных зависимостей между параметрами (например, связь ускорения и износа тормозной системы);

Сравнительное моделирование – создание эталонных («идеальных») моделей узлов с использованием специализированных платформ и сопоставление эталонных данных с реальными показателями для выявления аномалий (например, отклонения в работе двигателя при низких температурах).

Анализ эксплуатационной надежности базируется на двух направлениях:

- Прогнозирование безотказности, заключающееся в оценке вероятности сохранения работоспособности системы в заданный период с учетом факторов износа;

- Расчет остаточного ресурса, заключающийся в определении срока службы компонентов на основе анализа накопленных данных (пробег, режимы эксплуатации, история отказов).

Модель определения вероятности безотказной работы для оценки качества автономного транспортного средства представлена далее.

$$P(t, \varepsilon, r) = \exp \left[-\lambda_{\varepsilon} t - \sum_{i=1}^n r_{ni} t n(t) - \sum_{i=1}^n r_{ni} \frac{k_n t}{t_n} \right], \quad (1)$$

где: $P(t, \varepsilon, r)$ – эксплуатационная вероятность безотказной работы при условии измерения действующих факторов;

λ_{ε} – плотность вероятности безотказной работы в заданный период эксплуатации;

r_{ni} – коэффициент влияния фактора на ресурс транспортного средства или элемента;

$n(t)$ – количество воздействий фактора в рабочее время эксплуатации;

k_n – коэффициент сложности условий эксплуатации;

t_n – время эксплуатации.

Модель, описанная в формуле (1), базируется на предположении о заранее определенных условиях эксплуатации и доступности количественных измерений факторов, влияющих на надежность. Однако ее применение ограничено в ситуациях, где параметры работы транспортной техники существенно отклоняются от стационарных режимов. Например, в условиях динамического изменения нагрузок (резкие маневры, экстремальные перепады температур) модель не способна корректно оценить остаточный ресурс компонентов из-за отсутствия механизмов адаптации к нестабильным сценариям. Таким образом, ее эффективность сохраняется только для задач с предсказуемыми и контролируемыми эксплуатационными параметрами.

Для подобных сценариев оптимальным решением становится использование модели, оценивающей зависимость остаточного ресурса элементов и систем транспортного средства от негативных эксплуатационных воздействий, таких как износ, деградация материалов и перегрузки. Данный подход позволяет количественно определить, как различные факторы влияют на сокращение срока службы компонентов. Данная модель может быть формализована следующим образом:

$$R = R_o \cdot \exp \left[\frac{z_j - 1}{\Delta z_j} \right], \quad (2)$$

где: R – фактический ресурс автономного транспортного средства или его элемента;

R_o – паспортный (номинальный) ресурс автономного транспортного средства или его элемента;

Z_j – оценка воздействия j -го фактора на ресурс автономного транспортного средства или его элемента;

ΔZ_j – оценка изменения влияния j -го фактора на ресурс автономного транспортного средства или его элемента.

Формулу (2) при условии наличия конечного набора оценок факторов Z_j можно представить следующим образом:

$$R = R_o \cdot k, \quad (3)$$

$$k = \exp\left[\sum_{i=1}^N (Z_j^* - 1)\right], \quad (4)$$

где: Z_j^* – оценка воздействия j -го фактора на ресурс автономного транспортного средства или его элемента при наличии конечного набора оценок

N – количество воздействующих факторов.

В данном случае формула (4) представляет собой подход к расчету коэффициента условий сложности эксплуатации в условиях нормального распределения отказов и отсутствия случайных отказов, приводящих к полной потере работоспособности технической системы (автомобиля или системы автомобиля).

Формула (4) описывает метод расчета коэффициента сложности эксплуатационных условий, который применяется в рамках следующих допущений: отказы элементов системы подчиняются нормальному распределению (предсказуемая картина износа); исключены критические случайные отказы, способные полностью вывести из строя техническую систему (например, автономное транспортное средство или его подсистемы).

Подход, представленный в формулах (3) и (4), оптимален для оценки эксплуатационной надежности автономного транспортного средства, так как учитывает специфику работы современных технологий. Отсутствие статистических данных о надёжности новых и модернизированных компонентов транспортного средства делает традиционные подходы неприменимыми. Кроме того, нехватка аналитической информации о поведении систем в разнообразных условиях эксплуатации, а также частичное устаревание нормативной базы для расчета численных показателей, ограничивают использование классических методов. В таких условиях ключевую роль играет возможность назначения коэффициента сложности эксплуатации через согласованную экспертную оценку, что обеспечивает гибкость модели в условиях неполноты данных.

Реализация предложенного подхода к оценке требует поэтапного формирования коэффициентов сложности эксплуатации, основанного на анализе объективных данных. Корректировке подлежат ключевые параметры, включая коэффициент сложности эксплуатации, а также метрики качества статических и переходных процессов. Для статических процессов оценивается соответствие динамических параметров управляющим воздействиям, а для переходных – точность и время достижения целевых значений, а также характер их изменения.

Для эффективного применения модели автономного транспортного средства необходимо провести многоэтапную валидацию, обеспечивающую соответствие реальным условиям. На начальном этапе проверяются статические показатели, такие как установившиеся значения параметров при заданных управляющих воздействиях, в рамках первичных испытаний. Далее выполняется настройка динамических характеристик систем, включая время достижения целевых параметров и особенности переходных процессов. Завершающий этап валидации предполагает оценку влияния внешних факторов, возникающих в процессе эксплуатации до первого планового технического обслуживания.

Для выявления факторов, способствующих деградации узлов и систем, требуется предварительное определение условий эксплуатации автономного транспортного средства. Это позволяет установить граничные режимы работы и критические воздействия, влияющие на износ компонентов.

Остаточный ресурс элементов и систем автономного транспортного средства напрямую зависит от степени их износа и деградации. При разработке технической документации (технических условий или заданий) ресурс узлов определяется через требования к надёжности и ремонтпригодности. Однако в случае роботизированных шасси, где многие компоненты (двигатель, коробка передач, системы управления) поставляются сторонними производителями, объективная оценка ресурса становится сложной задачей. Это связано с многофакторным воздействием внешних условий, что делает экспертную оценку единственным практичным методом.

Для единичных изделий оценка состояния выполняется по двум направлениям: анализ фактического ресурса элемента и проверка его динамических/статических характеристик в рабочих режимах. Матрица предотказных состояний, в свою очередь, объединяет эксплуатационные и динамические параметры, формируя комплексный «портрет» износа, который позволяет прогнозировать деградацию узлов и систем.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Lee, E. A. Introduction to Embedded Systems. A Cyber-Physical Systems Approach / E. A. Lee, S. A. Seshia. – New York: MIT Press, 2017. – 547 p.
2. Platzer, A. Logical Foundations of Cyber-Physical Systems / A. Platzer. – Cham (Switzerland): Springer, 2018. – 662 p.
3. Berrada, J. Modeling Transportation Systems involving Autonomous Vehicle: A State of the Art // Transportation Research Procedia. – 2017. – Vol. 27. – P. 215–221.
4. Realpe, M. Sensor Fault Detection and Diagnosis for Autonomous Vehicles: PhD dissertation / M. Realpe. – Cuenca: University of Cuenca, 2015. – 120 p.
5. Frtunikj, J. Adaptive Error and Sensor Management for Autonomous Vehicles: Model-Based Approach and Run-Time System / J. Frtunikj, V. Rupanov, M. Armbruster, A. Knoll // Model-Based Safety and Assessment: Proc. of the 4th Int. Symp. IMBSA 2014 / Eds. F. Ortmeier, A. Rauzy. – Cham: Springer, 2014. – P. 166–180. – (Lecture Notes in Computer Science; Vol. 8822). – DOI: 10.1007/978-3-319-12214-4_13.
6. Lanigan, P. E. Diagnosis in Automotive Systems: A Survey / P. E. Lanigan, S. Kavulya, P. Narasimhan, T. E. Fuhrman, M. A. Salman // Carnegie Mellon University, General Motors Research & Development. – 2011.
7. Jeong, Y. An Integrated Self-Diagnosis System for an Autonomous Vehicle Based on an IoT Gateway and Deep Learning / Y. Jeong. – 2018.
8. Hossain, A. Diagnosis of Autonomous Vehicles Using Machine Learning / A. Hossain. – 2018.
9. Datta, S. K. Connected Car as an IoT Service / S. K. Datta. – 2016.
10. Schulte, P. Z. On-Board Model-Based Fault Diagnosis for Autonomous Proximity Operations / P. Z. Schulte. – 2018.
11. Glukhikh, M. An Approach for the Reliability Analysis of Automotive Control Systems / M. Glukhikh, M. Moiseev // St. Petersburg State Polytechnical University. – St. Petersburg, 2011.
12. Merkel, R. Software Reliability Growth Models Predict Autonomous Vehicle Disengagement Events / R. Merkel. – 2018.
13. Nguyen-Huu, P. N. Reliability and Failure in Unmanned Ground Vehicle (UGV) / P. N. Nguyen-Huu, J. Titus. – 2009.
14. Cranwell, R. M. [Presentation at the DoD Maintenance Symposium] / R. M. Cranwell // DoD Maintenance Symposium. – Orlando (FL, USA), November 13–16, 2007. – Sandia National Laboratories, 2007.
15. Prasad, B. H. Prediction of Vehicle Reliability Using ANN / B. H. Prasad. – 2012.
16. Ляпин, Н.А. Современные системы технического обслуживания и ремонта грузовых автомобилей; под ред. Н. А. Ляпина / Н.А. Ляпин, С.А. Ширяев, А.П. Федин, М.В. Полуэктов. – Волгоград: ВолгГТУ, 2016. – 188 с.
17. Коваленко, Н.А. Организация технического обслуживания и ремонта автомобилей / Н.А. Коваленко. – М.: НИИ ИНФРА-М, 2016. 229 с.
18. Сусарев, С.В. Интеллектуальная система диагностики агрегатов роботизированного автомобиля КАМАЗ / Сусарев С.В., Орлов С.П., Пугачев А.И. // Проблемы управления и моделирования в сложных системах: Труды XXI Международной конференции (3-6 сентября 2019 г. Самара, Россия). – Самара: ООО «Офорт», 2019. – С. 92-95.
19. Терентьев, А.В. Научно-методический подход к многокритериальной оценке срока эксплуатации автомобиля: Автореф. дисс.... докт. техн. наук: 05.22.10 / В.А. Терентьев. – СПб.: СПб. гос. арх.-строит. ун-т., 2019. – 44 с.
20. Терентьев, В.А. К вопросу многокритериальной оценки срока эксплуатации автомобиля / В.А. Терентьев, Д.Б. Ефименко // Мир транспорта и технологических машин. – 2018. – № 1(60). – С.21-27.

COMPREHENSIVE METHOD FOR MODELING THE QUALITY PARAMETERS OF AN AUTONOMOUS VEHICLE

© 2025 S.V. Susarev

Samara State Technical University, Samara, Russia

Modern autonomous transport systems integrating IoT and AI require a comprehensive quality assessment to ensure reliability and efficiency. The assessment is based on three types of data: objective, indirect and calculated. These data undergo multi-stage processing: normalization, noise filtering, identification of key parameters and integration into a single chronological model. The key approaches to reliability assessment are failure-free prediction and residual resource calculation. The model based on the normal distribution of failures is effective in stable conditions, but is limited under dynamic loads. An alternative model links the resource with operational complexity coefficients determined by expert methods, which provides flexibility in conditions of incomplete data. Integration of data, modern algorithms and flexible models allows increasing the reliability of autonomous transport, reducing maintenance costs. Further development requires international standardization and the introduction of innovative solutions for working in dynamic conditions.

Keywords: competitiveness, quality, automobile.

DOI: 10.37313/1990-5378-2025-27-2-74-80

EDN: GCKYSS

REFERENCES

1. Lee, E. A. Introduction to Embedded Systems. A Cyber-Physical Systems Approach / E. A. Lee, S. A. Seshia. – New York: MIT Press, 2017. – 547 p.
2. Platzer, A. Logical Foundations of Cyber-Physical Systems / A. Platzer. – Cham (Switzerland): Springer, 2018. – 662 p.
3. Berrada, J. Modeling Transportation Systems involving Autonomous Vehicle: A State of the Art // Transportation Research Procedia. – 2017. – Vol. 27. – P. 215–221.
4. Realpe, M. Sensor Fault Detection and Diagnosis for Autonomous Vehicles: PhD dissertation / M. Realpe. – Cuenca: University of Cuenca, 2015. – 120 p.
5. Frtunikj, J. Adaptive Error and Sensor Management for Autonomous Vehicles: Model-Based Approach and Run-Time System / J. Frtunikj, V. Rupanov, M. Armbruster, A. Knoll // Model-Based Safety and Assessment: Proc. of the 4th Int. Symp. IMBSA 2014 / Eds. F. Ortmeier, A. Rauzy. – Cham: Springer, 2014. – P. 166–180. – (Lecture Notes in Computer Science; Vol. 8822). – DOI: 10.1007/978-3-319-12214-4_13.
6. Lanigan, P. E. Diagnosis in Automotive Systems: A Survey / P. E. Lanigan, S. Kavulya, P. Narasimhan, T. E. Fuhrman, M. A. Salman // Carnegie Mellon University, General Motors Research & Development. – 2011.
7. Jeong, Y. An Integrated Self-Diagnosis System for an Autonomous Vehicle Based on an IoT Gateway and Deep Learning / Y. Jeong. – 2018.
8. Hossain, A. Diagnosis of Autonomous Vehicles Using Machine Learning / A. Hossain. – 2018.
9. Datta, S. K. Connected Car as an IoT Service / S. K. Datta. – 2016.
10. Schulte, P. Z. On-Board Model-Based Fault Diagnosis for Autonomous Proximity Operations / P. Z. Schulte. – 2018.
11. Glukhikh, M. An Approach for the Reliability Analysis of Automotive Control Systems / M. Glukhikh, M. Moiseev // St. Petersburg State Polytechnical University. – St. Petersburg, 2011.
12. Merkel, R. Software Reliability Growth Models Predict Autonomous Vehicle Disengagement Events / R. Merkel. – 2018.
13. Nguyen-Huu, P. N. Reliability and Failure in Unmanned Ground Vehicle (UGV) / P. N. Nguyen-Huu, J. Titus. – 2009.
14. Cranwell, R. M. [Presentation at the DoD Maintenance Symposium] / R. M. Cranwell // DoD Maintenance Symposium. – Orlando (FL, USA), November 13–16, 2007. – Sandia National Laboratories, 2007.
15. Prasad, B. H. Prediction of Vehicle Reliability Using ANN / B. H. Prasad. – 2012.
16. Lyapin, N. A. Sovremennye sistemy tekhnicheskogo obsluzhivaniya i remonta gruzovyh avtomobilej; pod red. N. A. Lyapina / N. A. Lyapin, S. A. Shiryayev, A. P. Fedin, M. V. Poluektov. – Volgograd: VolGTU, 2016. – 188 s.
17. Kovalenko, N. A. Organizaciya tekhnicheskogo obsluzhivaniya i remonta avtomobilej / N. A. Kovalenko. – M.: NIC INFRA-M, 2016. 229 s.
18. Susarev, S. V. Intellektual'naya sistema diagnostiki agregatov robotizirovannogo avtomobilya KAMAZ / Susarev S. V., Orlov S. P., Pugachev A. I. // Problemy upravleniya i modelirovaniya v slozhnyh sistemah: Trudy XXI Mezhdunarodnoj konferencii (3-6 sentyabrya 2019 g. Samara, Rossiya). – Samara: OOO «Ofort», 2019. – S. 92-95.
19. Terent'ev, A. V. Nauchno-metodicheskij podhod k mnogokriterial'noj ocenke sroka ekspluatacii avtomobilya: Avtoref. diss.... dokt. tekhn. nauk: 05.22.10 / V. A. Terent'ev. – SPb.: SPB. gos. arh.-stroit. un-t., 2019. – 44 s.
20. Terent'ev, V. A. K voprosu mnogokriterial'noj ocenki sroka ekspluatacii avtomobilya / V. A. Terent'ev, D. B. Efimenko // Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin. – 2018. – № 1(60). – S.21-27.