

УДК 656.13

Сафиуллин Р.Н., Санкт-Петербургский Горный университет Императрицы Екатерины II, Санкт-Петербург, Россия, safravi@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8765-6461>

Сорокин К.В., Санкт-Петербургский Горный университет Императрицы Екатерины II, Санкт-Петербург, Россия, kirov_00@bk.ru, <https://orcid.org/0009-0006-3781-1407>

Набиев А.Р., Санкт-Петербургский Горный университет Императрицы Екатерины II, Санкт-Петербург, Россия, aydar.nabiev2004@mail.ru.

МЕТОДЫ УДАЛЕННОЙ ОЦЕНКИ И ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ

Аннотация. Статья посвящена вопросам повышения эффективности и надежности эксплуатации транспортных средств. В качестве инновационного подхода рассматривается внедрение способов удаленной оценки и прогнозирования технического состояния транспортных средств. Проведен анализ методов оценки технического состояния, включая «Дерево неисправностей», «Анализ видов и последствий отказов» и контрольные карты Шухарта, с подробным рассмотрением их возможностей и ограничений. Использование систем дистанционного контроля и адаптивного управления позволяет существенно повысить безопасность, эксплуатационную надежность и экономическую эффективность применения транспортных средств, а также снизить экологическую нагрузку при их использовании.

Ключевые слова: высокоавтоматизированные транспортные средства, прогнозирование технического состояния, удаленная оценка.

Введение. Эксплуатация транспортных средств в различных условиях, в том числе в регионах с суровыми климатическими особенностями, предъявляет повышенные требования к вопросам обеспечения надежности, безопасности и общей эффективности работы транспортных систем. Поэтому особую значимость приобретает внедрение инновационных беспилотных технологий, которые открывают принципиально новые возможности для минимизации операционных рисков, связанных с человеческим фактором, и существенного повышения устойчивости всей транспортной инфраструктуры.

Основой современного подхода к организации транспортных систем становится решение задачи обеспечения бесперебойной работы техники в условиях экстремальных эксплуатационных нагрузок. Существенное усложнение данной задачи обусловлено целым комплексом факторов, включая ограниченность сервисной инфраструктуры, значительную удаленность специализированных центров технического обслуживания, а также объективные сложности в организации логистики запасных частей и расходных материалов. В подобных условиях особую важность приобретает внедрение интеллектуальных систем мониторинга и прогнозирования технического состояния транспортных средств, которые становятся неотъемлемым компонентом современной транспортной системы.

Современные технологические решения, основанные на принципах удаленной оценки и комплексного анализа эксплуатационных данных, позволяют осуществлять оперативное выявление потенциальных неисправностей и отклонений в работе оборудования. Важной особенностью таких систем является их способность предотвращать развитие серьезных последствий даже при обнаружении незначительных отклонений от нормальных режимов работы, что особенно ценно в условиях сложной эксплуатации.

Особое значение в техническом обслуживании транспортных систем занимают передовые методы прогнозирования технического состояния, базирующиеся на обработке больших эксплуатационных данных с применением сложных алгоритмов машинного обучения. Подобный аналитический подход обеспечивает не только своевременную и точную диагностику текущего состояния оборудования, но и позволяет с высокой степенью достоверности прогнозировать потенциальные отказы и неисправности. В результате реализации такого подхода достигается значительное снижение вероятности внезапных критических поломок, что в свою очередь приводит к существенному сокращению простоев транспортных средств, оптимальному распределению затрат на техническое

обслуживание и кардинальному повышению общей надежности всей транспортной системы.

Реализация указанных технологических решений способствует достижению комплексного эффекта, проявляющегося не только в повышении экономической эффективности транспортных операций, но и в существенном росте показателей безопасности, а также в значительном снижении потенциальных экологических рисков. В этом контексте беспилотные и автоматизированные транспортные средства представляют собой одно из наиболее перспективных направлений развития транспортной отрасли, демонстрируя высокую эффективность и устойчивость в самых различных, в том числе и наиболее сложных условиях эксплуатации. Постоянное совершенствование данных технологий и их интеграция в транспортную инфраструктуру открывает новые горизонты для создания принципиально новых, более безопасных и эффективных систем транспортного обеспечения.

Прогнозирование отказов. Среди современных методов прогнозирования отказов технических систем особое место занимает метод «Дерево неисправностей», представляющий собой системный подход к оценке надежности. Данная методика основана на комбинированном качественно-количественном анализе, первоначальным этапом которого выступает идентификация критического события, потенциально ведущего к нарушению работоспособности системы. Последующий анализ включает детерминацию всех возможных причин возникновения неисправности с оценкой их вероятностных характеристик.

Процедура реализации метода предполагает последовательное выполнение нескольких этапов. После выявления критического события осуществляется построение логико-вероятностной модели, отражающей взаимосвязи между элементами системы и возможными путями возникновения отказа. Затем проводится вероятностная оценка построенной модели, на основании которой формулируются рекомендации по повышению

надежности системы. Завершающим этапом становится разработка алгоритмов мониторинга и прогнозирования потенциальных отказов [12].

К числу преимуществ данного метода относится его экономическая эффективность, обусловленная возможностью применения при ограниченных ресурсах и небольшом количестве привлекаемых специалистов. Однако следует отметить существенные временные затраты, необходимые для полноценной реализации метода, особенно при анализе сложных технических систем. Серьезным ограничением является невозможность адекватного учета частичных отказов и постепенной деградации элементов системы, что снижает точность прогнозирования в случаях постепенного ухудшения технического состояния оборудования.

Помимо «Дерева неисправностей» существует такой метод, как «Анализ видов и последствий отказов», представляющий собой системный подход к оценке потенциальных отказов и их последствий. Данная методика обеспечивает комплексный анализ возможных дефектов системы с последующим ранжированием их по степени влияния на функциональность и безопасность эксплуатации.

Реализация метода предполагает последовательное выполнение аналитических процедур, начиная с детального изучения структурно-функциональных характеристик системы. На следующем этапе осуществляется идентификация потенциальных отказов с составлением исчерпывающего перечня возможных дефектов и несоответствий. Особое внимание уделяется установлению причинно-следственных связей между выявленными неисправностями и их возможными последствиями для работы системы в целом.

Ключевым элементом методики является многокритериальная экспертная оценка каждого потенциального отказа по трем параметрам: тяжести последствий, вероятности возникновения и возможности своевременного обнаружения. На основании полученных показателей производится расчет приоритетного числа рисков, величина которого прямо

пропорциональна потенциальной опасности соответствующего отказа для системы. Заключительная фаза анализа предусматривает разработку комплекса технических и организационных мер, направленных на устранение выявленных уязвимостей и повышение общей надежности системы [13].

Несмотря на высокую эффективность метода, следует отметить его существенные ограничения, связанные со значительной ресурсоемкостью реализации. Проведение полноценного анализа видов и последствий отказов требует привлечения высококвалифицированных специалистов и существенных временных затрат, что обуславливает высокую стоимость процедуры. Данное обстоятельство ограничивает широкое применение метода в условиях ограниченных ресурсов, требуя поиска компромиссных решений между глубиной анализа и экономической целесообразностью.

В основе метода прогнозирования технического состояния ТС на основе контрольных карт Шухарта лежит процедура графического представления временных рядов ключевых эксплуатационных параметров технических систем, таких как температурные режимы, показатели давления и аналогичные характеристики. Метод предполагает установление статистически значимых контрольных границ - верхнего и нижнего пределов, определяющих область допустимых колебаний контролируемых величин. Превышение установленных граничных значений интерпретируется как индикатор потенциальной неисправности или отклонения от нормального режима функционирования системы [14-15].

Следует отметить существенные ограничения данного подхода. Прежде всего, метод обладает исключительно реактивным характером, позволяя идентифицировать отклонения лишь после их фактического проявления, что существенно сужает возможности превентивного прогнозирования. Эффективность метода напрямую зависит от качества исходных данных - требуются высокоточные измерения и репрезентативная выборка наблюдений. При этом даже незначительные погрешности

измерений или недостаточный объем данных могут привести к ошибочным диагностическим заключениям.

Особые сложности возникают при попытке применения метода для анализа сложных многопараметрических систем, где состояние оборудования определяется комплексом взаимосвязанных факторов. Важным ограничением является отсутствие в методике учета временных зависимостей и долгосрочных тенденций изменения параметров, что существенно снижает ее прогностическую ценность при оценке перспективных изменений технического состояния [4].

Рассматриваемые методы анализа – «Дерево неисправностей», «Анализ видов и последствий отказов» и контрольные карты Шухарта – послужили концептуальной основой для разработки системы удаленного контроля и прогнозирования работоспособности транспортных средств. Адаптация данных методик потребовала существенной модификации с учетом особенностей дистанционного мониторинга, ограниченности диагностических данных и специфики эксплуатации подвижного состава в различных условиях.

Основной проблемой при реализации системы стало преобразование классических аналитических подходов в алгоритмы, способные работать с ограниченным набором телеметрических параметров, передаваемых по каналам связи. Особое внимание было уделено разработке компенсационных механизмов, позволяющих нивелировать недостаток информации по сравнению с традиционными методами диагностики. На рисунке 1 представлен пример алгоритма удаленного контроля технического состояния ВАТС.

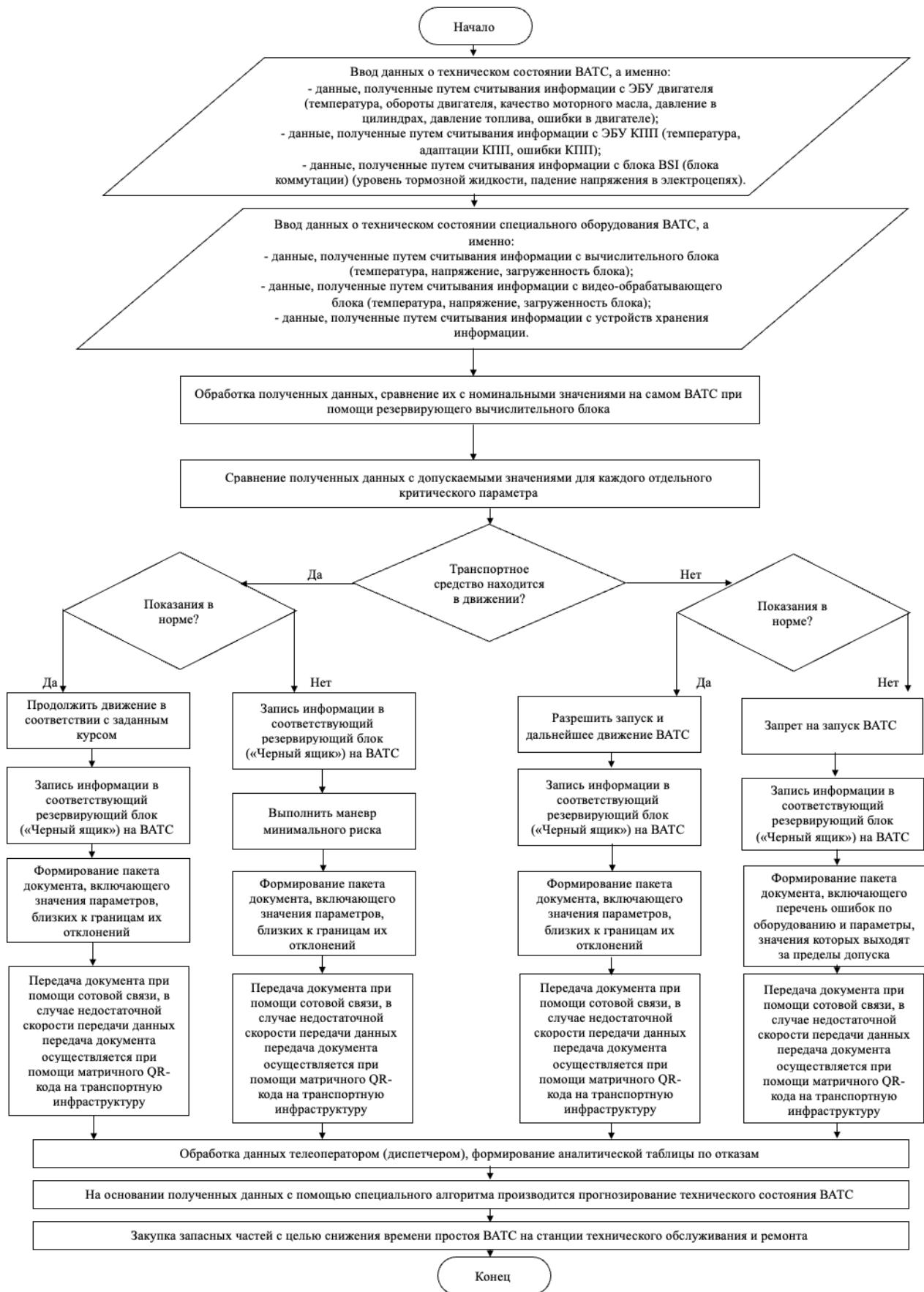


Рис. 1. Алгоритм удаленного контроля технического состояния BATC

Безопасность функционирования высокоавтоматизированных транспортных средств требует комплексного мониторинга как механических узлов и агрегатов, так и электронных систем управления. Особое внимание необходимо уделять диагностированию вычислительных модулей, включающих специализированное программное обеспечение и нейросетевые алгоритмы обработки данных, поступающих от оптических сенсоров, лидарных и радиолокационных систем.

Предложенный алгоритм дистанционного мониторинга технического состояния ВАТС представляет собой инновационный подход, обеспечивающий оперативное диагностирование как базовых систем транспортного средства, так и специализированного оборудования, ответственного за реализацию функций автономного управления. Данная методика позволяет осуществлять непрерывный контроль работоспособности всех критически важных компонентов системы [7-9, 12].

Использование алгоритма удаленного контроля технического состояния беспилотных автотранспортных средств (ВАТС) можно обосновать следующими ключевыми аспектами

1. Повышение эффективности обслуживания и управления техническими системами. Автоматизированный мониторинг позволяет своевременно обнаруживать и устранять возможные неполадки, что сокращает время простоя системы и повышает её общую надёжность.

2. Экономия временных и материальных ресурсов. Удалённый контроль состояния ВАТС в режиме реального времени позволяет оперативно реагировать на отклонения без необходимости отправки специалистов на место, что значительно снижает затраты.

3. Повышение безопасности и надежности ТС. Контроль технического состояния ВАТС из удаленной точки помогает предотвращать возможные аварии и улучшает общую безопасность технических систем.

4. Возможность прогнозирования и предотвращения последующих неисправностей. Постоянный мониторинг и анализ состояния ВАТС

позволяет выявлять потенциальные проблемы даже до их возникновения, что помогает предотвращать серьезные сбои и простой.

5. На основании прогнозирования технического состояния ВАТС встает вопрос об оптимизации процесса заказа запасных частей на основании информации, полученной при прогнозировании технического состояния ВАТС.

Таким образом, внедрение алгоритма дистанционного мониторинга технического состояния высокоавтоматизированных транспортных средств представляет собой обоснованное решение, обладающее значительным эксплуатационным потенциалом. Данная методика обеспечивает существенное повышение эффективности управления транспортными системами за счет реализации непрерывного диагностического контроля, экономию ресурсов, увеличению безопасности и надёжности, а также позволяет прогнозировать и предотвращать возможные неисправности беспилотных транспортных средств [16-17].

Заключение. Эксплуатация автоматизированных транспортных средств в различных условиях требует особых подходов к обеспечению их надежности и безопасности. Разработанный алгоритм удаленного контроля технического состояния автономных транспортных систем представляет собой комплексное решение, направленное на оперативную диагностику оборудования, прогнозирование потенциальных отказов и предотвращение аварийных ситуаций.

Применение данного подхода позволяет существенно повысить показатели эксплуатационной надежности за счет реализации системы превентивного обслуживания. Интеграция таких методов анализа, как «Дерево неисправностей», «Анализ видов и последствий отказов» и контрольных карт Шухарта, обеспечивает многоуровневую систему диагностирования, несмотря на имеющиеся ограничения каждого из методов в отдельности.

Таким образом, разработанный алгоритм удаленного контроля технического состояния ВАТС позволит повысить надежность транспортных средств, а также увеличить эффективность при их эксплуатации.

Список использованных источников

1. Овчаренко М. С. Анализ и прогноз состояния и уровня аварийности на дорогах Российской Федерации и пути по ее снижению // Научно-методический электронный журнал «Концепт». – 2024. – Т. 15. – С. 1661–1665.
– URL. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://e-koncept.ru/2016/96251.htm>.
2. Аредова, А. К. Анализ смертности и травматизации от дорожно-транспортных происшествий в РФ / А. К. Аредова. — Текст : непосредственный // Молодой ученый. — 2020. — № 46 (336). — С. 466-468. — URL: <https://moluch.ru/archive/336/75010/> (дата обращения: 10.03.2025).
3. Бараковский В.В. О проблеме аварийности по причине эксплуатации транспортных средств с техническими неисправностями и некоторых путях ее решения. // Современная наука. 2021; (3): 25–30.
4. Сафиуллин Р. Н., Сафиуллин Р. Р., Сорокин К. В. Метод оценки и прогнозирования технического состояния ресурсных элементов карьерных самосвалов на основе контрольных карт Шухарта // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2024. – № 7. – С. 111–124. DOI: 10.25018/0236_1493_2024_7_0_111.
5. Сафиуллин Р. Н., Сафиуллин Р. Р., Ефремова В. А. Метод комплексной оценки бортовых информационно-управляющих систем на горных машинах // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2023. № 9-1. С. 49–63. DOI: 10. 25018/0236-1493-2023-91-0-49.
6. Шибанов Д. А., Иванов С. Л., Емельянов А. А., Пумпур Е. В. Оценка показателей работоспособности карьерных экскаваторов в реальных условиях эксплуатации // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2020. – №10. – С. 86-94. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-10-0-86-94.

7. Симонова Л., Егорова Е., Ахмадиев А. / Нейронные сети в производстве (статья)// (2022) Российские инженерные исследования, 2022, Том 42, № 3, с. 278-281.
8. Л. А. Симонова, Д. Н. Демьянов, А. А. Капитонов/ Интеллектуальная информационная система для формирования проектных ограничений в автомобильной промышленности // Российские инженерные исследования, 2020, Том 40, № 12, с. 1034-1038.
9. Малыгин И., Селиверстов Ю., Селиверстов С., Фахми С., Сильников М., Муксимова Р., Гергель Г., Чигур В. Мобильные технологии в интеллектуальных транспортных системах // Коммуникации в информатике. 2020. Т. 1140. С. 384-391.
10. Оценка повреждений в схемах распределительных устройств с различными типами высоковольтных выключателей, Назарычев А., Пугачев А., Сулыненков И., Материалы конференции AIP 2552, 050008 (2022), <https://doi.org/10.1063/5.0115558>
11. Курганов В. М., Грязнов М. В., Колобанов С. В. Оценка надежности функционирования экскаваторно-автомобильных комплексов в карьере // Записки Горного института. – 2020. – Т. 241. – С. 10-21. DOI: 10.31897/pmi.2020.1.10.
12. Селиверстов Я. А., Гергель Г. Ю., Селиверстов С. А., Никитин К. В., Развитие интеллектуальных транспортных систем на основе мобильных технологий и процедур анализа социальной активности городского населения // Научно-технические ведомости СПбГПУ. Информатика. Телекоммуникации. Управление. – 2018, – Т.11 – С.47–64. DOI: 10.18721/JCSTCS.11105.
13. Клебанов А.Ф., Будущее безлюдных технологий на открытых горных работах, Горная промышленность, №3, 2020.
14. Рудко, В. А. Научно-техническое обоснование возможности организации производства игольчатого кокса в России / В. А. Рудко, Р. Р. Габдулхаков, И. Н. Пягай // Записки Горного института. – 2023. – Т. 263. – С. 795-809. – EDN KYNHWL.

15. Борисов С. В., Колтунова Е. А., Кладиев С. Н. Совершенствование структуры имитационной модели тягового асинхронного электропривода рудничного электровоза // Записки Горного института. — 2021. — Т. 247. — С. 1–8. DOI: 10.31897/PMI.2021.1.12.
 16. Brummelen V., O'Brien M., Gruyer D., Najjaran H. Autonomous vehicle perception: The technology of today and tomorrow // Transportation Research Part C: Emerging Technologies. 2018, vol. 89, pp. 384-406. DOI: 10.1016/j.trc.2018.02.012.
 17. Lomazov V., Lomazov A., Petrosov D., Akupian O. Intelligent evaluation of implementation road infrastructure development program // Transportation Research Procedia. 2022, vol. 63, pp.1089-1094. DOI: 10.1016/j.trpro.2022.06.111.
-

Safiullin Ravill N, Empress Catherine II Saint Petersburg Mining University, St. Petersburg, Russia, safravi@mail.ru, https://orcid.org/0000-0002-8765-6461

Sorokin Kirill V, Empress Catherine II Saint Petersburg Mining University, St. Petersburg, Russia, kirov_00@bk.ru, https://orcid.org/0009-0006-3781-1407

Nabiev Aydar R, Empress Catherine II Saint Petersburg Mining University, St. Petersburg, Russia, aydar.nabiev2004@mail.ru

METHODS OF REMOTE ASSESSMENT AND FORECASTING OF THE TECHNICAL CONDITION OF VEHICLES

Abstract. The article is devoted to the issues of increasing the efficiency and reliability of vehicle operation. The introduction of remote assessment and forecasting methods for the technical condition of vehicles is considered as an innovative approach. The analysis of methods for assessing the technical condition, including the "Fault Tree", "Analysis of the types and consequences of failures" and Schuhart control maps, with a detailed examination of their capabilities and limitations, is carried out. The use of remote monitoring and adaptive control systems can significantly improve the safety, operational reliability and economic efficiency of vehicles, as well as reduce the environmental burden when using them.

Keywords: highly automated vehicles, prediction of technical condition, remote assessment.