

DOI: [10.34220/2311-8873-2023-65-70](https://doi.org/10.34220/2311-8873-2023-65-70)



УДК 629.1

UDC 629.1

2.9.5 – эксплуатация автомобильного транспорта

ПЕРСПЕКТИВНЫЕ МОДЕЛИ ОЦЕНКИ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ТОРМОЗНЫХ СИСТЕМ ВЫСОКОАВТОМАТИЗИРОВАННЫХ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ

PROMISING MODELS FOR ASSESSING THE TECHNICAL CONDITION OF BRAKE SYSTEMS OF HIGHLY AUTOMATED VEHICLES

✉¹ **Подопригора Николай Владимирович**, к.т.н., доц. кафедры наземных транспортно-технологических машин, Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет, г. Санкт-Петербург, e-mail: n.v.podoprigora@gmail.com

✉¹ **Podoprigora Nikolay Vladimirovich**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Ground Transport and Technological Machines, St. Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering, St. Petersburg, e-mail: n.v.podoprigora@gmail.com

Евтюков Сергей Аркадьевич, д.т.н., профессор, заведующий кафедрой наземных транспортно-технологических машин, г. Санкт-Петербург.

Yevtyukov Sergey Arkadyevich, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Land Transport and Technological Machines, St. Petersburg.

Аннотация. Предложены перспективные математические и логические модели диагностирования технического состояния тормозных систем высокоавтоматизированных транспортных средств, с целью своевременного выявления и предотвращения возникновения неисправностей, а также повышения уровня безопасности дорожного движения.

Annotation. Promising mathematical and logical models for diagnosing the technical condition of the braking systems of highly automated vehicles, in order to detect and prevent the occurrence of faults in time, as well as to improve traffic safety are proposed.

Ключевые слова: БЕЗОПАСНОСТЬ ДОРОЖНОГО ДВИЖЕНИЯ, ВЫСОКОАВТОМАТИЗИРОВАННОЕ ТРАНСПОРТНОЕ СРЕДСТВО, ТЕХНИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ, ТОРМОЗНЫЕ СИСТЕМЫ.

Keywords: ROAD SAFETY, HIGHLY AUTOMATED VEHICLE, TECHNICAL CONDITION, BRAKE SYSTEMS.

¹ Автор для ведения переписки

1 Состояние вопроса исследования и актуальность работы

Современный уровень развития научно-технического прогресса на сегодняшний день позволяет создавать не только компьютерные, но и математические модели, позволяющие описывать с высокой степенью адекватности фактическое техническое состояние транспортных средств (ТС) на протяжении всего его жизненного цикла. Зачастую, углубленное изучение (анализ) диагностируемого объекта, возможно лишь при условии наличия у его модели математического вида. Логическое и математическое моделирование, с технической точки зрения, имеет практическую

ценность в том случае, когда возникает потребность в изучении сложных процессов диагностирования ТС в целом, так и отдельно его систем конструктивной безопасности.

В представленной публикации, математические модели рассматриваются авторами с позиции формализованного описания объекта, необходимого для решения существующих задач диагностирования современных ТС и в перспективе, высокоавтоматизированных транспортных средств (ВАТС).

В проводимом научном исследовании, ВАТС рассматривается, как ТС в конструкции которого внесены изменения, связанные с его оснащением автоматизированной системой вождения. Авторами рассматривается этап достижения пятого уровня (полной) автоматизации ТС и перехода водителя (водителя-оператора) в статус пользователя.

Сочетание анализа средств инструментального контроля и диагностирования ТС подразумевает собой формальное описание возникновения дефектов в процессе его эксплуатации. Для проведения исследований, именно математическая модель объекта диагностирования (при его нормальной эксплуатации) выступает в качестве исходных данных об объекте.

Возникновение дефекта влечет за собой и изменение параметров самой модели. Таким образом, представляется целесообразным внесение корректировок в исследуемую модель с целью прогнозирования возможных изменений при возникновении неисправностей. Такая модель по своей структуре должна быть подобна модели исправного ТС и отличаться от нее лишь отдельными взятыми компонентами.

2 Материалы и методы

Известно, что математической моделью объекта называют совокупность дифференциальных и алгебраических уравнений, эмпирических формул, таблиц, графиков и матриц, которые описывают характеристики объекта исследования. Любая разрабатываемая математическая модель позволяет приближенно отражать протекающие процессы в реальном объекте. Для оценки степени приближенности поведения реального объекта и разрабатываемой модели требуется проведение ее идентификации.

Поэтапная разработка математической модели является реальным инструментом в решении задач диагностирования. Ее стоит рассматривать как конечный продукт абстракции, формализации возможных эксплуатационных изменений, протекающих в жизненном цикле ВАТС.

Первым этапом разработки математической модели является построение и формализация структурной модели объекта диагностирования. Вторым этапом – внедрение математического аппарата в разработанную диагностическую модель, с последующим установлением совокупности исследуемых параметров систем конструктивной безопасности и ее функциональных характеристик, а также и построение взаимосвязей между ними.

С целью сокращения объема работ и времени на диагностирование объекта, установление взаимосвязей между исследуемыми параметрами, изучение физической сущности эксплуатационных изменений, включая и идентификацию измеряемых величин и параметров, оценивающих техническое состояние ВАТС (отдельной системы конструктивной безопасности), представляется целесообразным применение методов физического и математического моделирования.

На практике физическое моделирование исследуемого объекта, включая и протекающие в нем эксплуатационные изменения, имеют общую физическую природу

В эпоху развития ВАТС наиболее целесообразно применение математического моделирования при диагностировании неисправностей, информация о которых может поступать в память электронного блока управления (ЭБУ) диагностируемых систем.

Известно, что математические модели в зависимости от формы делятся на линейные и нелинейные. При получении линейной модели значительно упрощается задача диагностики, поскольку для этого класса задач учеными уже разработаны проверенные методы решения. Наиболее важным преимуществом линейных систем является взаимная независимость обратной связи системы на отдельные возмущения (воздействия). Это находит свое отражение как в

процессе получения диагностических сведений(информации), так и в процессе принятия решений. На практике, при решении таких задач технической диагностики высокоавтоматизированных транспортных средств, линейные модели находят свое применение в ситуациях, когда развитие выявленных дефектов будет приводить к незначительным отклонениям от нормативных значений измеряемых параметров, оценивающих техническое состояние систем конструктивной безопасности ВАТС.

Основываясь на характер исходных данных, разрабатываемые модели можно разделить на вероятностные (стохастические) и детерминированные. В рассматриваемых случаях, существенное отличие будет заключаться в аппарате описания и методах получения решений. Оценку технического состояния ВАТС на предмет соответствия требованиям конструктивной безопасности по критерию исправности/неисправности объекта, целесообразно представлять в форме динамической системы. Контролировать ее состояние предоставляется возможным в режиме реального времени (online) по средствам определения значений внутренних, входных и выходных параметров. Достоверными будут приниматься значения тех измеряемых параметров, которые были получены в динамическом состоянии диагностируемого объекта. Даже на наивысшем уровне автоматизации транспортного средства (пятый уровень), разрабатываемая диагностическая модель сможет идентифицировать перечень систем(узлов) в виде отдельных модулей(блоков), взаимосвязанных и интегрированных между собой. При выходе из строя одного модуля, поступающий от системы сигнал будет оказывать влияние на техническое состояние и работоспособность другого модуля.

3 Результаты исследований

Построение диагностической модели систем конструктивной безопасности ВАТС предшествует различным исследованиям технического состояния существующих современных транспортных средств с различным уровнем автоматизации. Результаты таких исследований позволяют сформировать обобщенную структуру будущего объекта диагностирования (ВАТС). Сформированная структура позволит: оценивать выполняемые функции модулей(блоков) и самого ВАТС в целом; определять режим его работы; определять состав элементов и выстраивать каналы информационных данных (КИД) между ними; выявлять наличие каналов обратных связей (КОС) и оценивать возможность их разрыва в период их диагностирования; выявлять признаки и определять параметры нормального функционирования системы; рабочие сигналы; определять диапазон измерения параметров при нормальном функционировании; выявлять характерные отказы конструктивных элементов систем ВАТС и их сопряжений с другими элементами(системами); своевременно обнаруживать возможные узлы регулирования.

Математическую модель объекта диагностирования (систем конструктивной безопасности ВАТС) можно представить в разных формах как в аналитической, графической, векторной или табличной (рис.1).

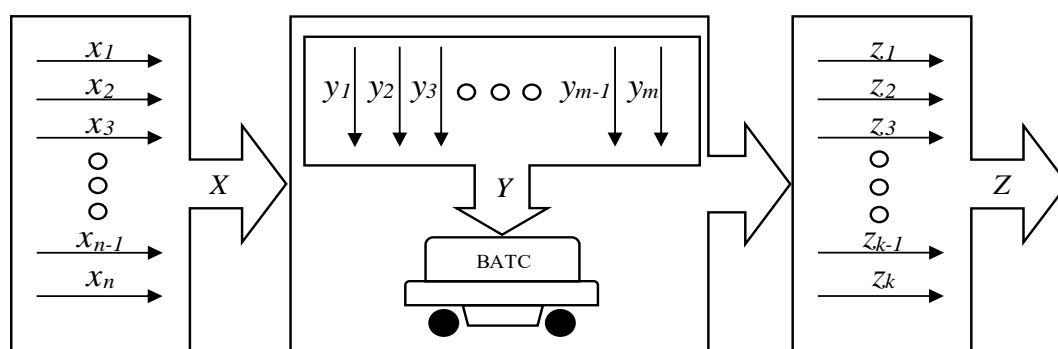


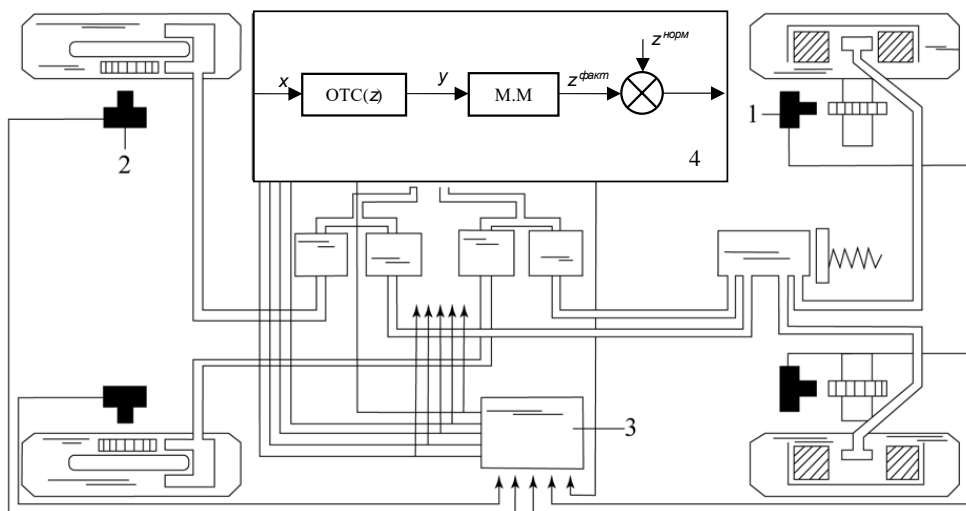
Рисунок 1 – Математическая модель диагностирования систем конструктивной безопасности ВАТС

В демонстрируемой математической модели X мерным вектором является n , у B демонстрируемой математической модели X мерным вектором является n , у которого компонентами являются значения входных переменных $x_1, x_2, x_3 \dots x_n$. Идентично, для модели Y мерным вектором является m , значения внутренних переменных которого являются $y_1, y_2, y_3 \dots y_m$, для Z – мерный вектор k , у которого значения выходных функций $z_1, z_2, z_3 \dots z_k$.

Таким образом, математической моделью исправного состояния системы конструктивной безопасности является выходная функция $Z=f(X, Y_{ucx}, t)$, в которой Y_{ucx} характеризует исходное(начальное) значение внутренних переменных измеряемых параметров объекта диагностирования(ВАТС), а t – фактор времени продолжительности эксплуатации.

В процессе эксплуатации изменяются внутренние переменные $y_1, y_2, y_3 \dots y_m$ и не исключена вероятность проявления неисправностей(отказов). Следовательно, математическая модель i -го неисправного состояния ВАТС приобретает вид $Z^i=f^i(X, Y^i_{ucx}, t)$. Построение и реализация алгоритмов диагностирования объектов представляется возможным при определении содержания и количества проводимых операций(проверок) ε_j , где $j=1,2,3$. Каждая операция подразумевает собой воздействие (информационный запрос) δ_j с целью получения обратной связи о состоянии диагностируемого объекта(системы).

В качестве примера внедрения такой математической модели в одну из систем ВАТС, авторы рассматривают типовую гидравлическую тормозную систему легкового транспортного средства категории М1, оснащенную ABS. Механизм получения данных и процесс оценки технического состояния тормозной системы, с последующей постановкой диагноза, представлен на рисунке 2.



1 – датчик ABS заднего колеса; 2 – датчик ABS переднего колеса; 3 – модуль ABS; 4 – цифровой программный модуль.

Рисунок 2 – Схематическое представление определения технического состояния тормозной системы

На объекте контроля (ОК) с параметрами технического состояния z действует внешнее возмущение x . С помощью встроенных средств измерения определяется диагностические параметры y . Значения этих параметров с использованием математической модели (ММ) преобразуются в значения параметров технической $z^{факт}$. Далее, эти значения сравниваются с нормативными с $z^{норм}$ и по результатам делается заключение о техническом состоянии тормозной системы.

4 Обсуждение и заключение

Благодаря применению современной микропроцессорной вычислительной техники и возможности программных платформ, в перспективных конструкциях ВАТС математическое моделирование позволит в значительной степени сократить и удешевить процесс диагностирования, осуществить выбор наиболее информативных диагностических параметров, накапливать и передавать информацию в режиме реального времени в аналитической форме с целью контроля и прогнозирования технического состояния систем конструктивной безопасности ВАТС.

Список литературы

- 1 Кравченко, П.А. Пофакторное управление уровнем обеспечиваемой безопасности на дорогах России / П.А. Кравченко, С.В. Жанказиев, Е.М. Олещенко // Транспорт Российской Федерации. – 2021. – № 5-6(96-97). – С. 3-9.
- 2 Кравченко, П.А. Концепция обеспечения «нулевой смертности» на дорогах России как механизм борьбы с причинами дорожно-транспортных происшествий / П.А. Кравченко, С.В. Жанказиев, Е.М. Олещенко // Транспорт Российской Федерации. – 2019. – № 4(83). – С. 3-7.
- 3 Кравченко, П.А. Системный подход в управлении безопасностью дорожного движения в Российской Федерации / П.А. Кравченко, Е.М. Олещенко // Транспорт Российской Федерации. – 2018. – № 2(75). – С. 14-18.
- 4 ГОСТ Р ИСО 39001-2014. Системы менеджмента БДД. Требование и руководство по применению. – М.: Стандартинформ, 2015. – 33 с.
- 5 Современные тенденции развития бортовых интеллектуальных транспортных систем: монография / П.А. Пегин, Д.В. Капский, В.В. Касьяник, В.Н. Шуть; СПбГАСУ. – СПб., 2019. – 198 с.
- 6 Жигадло, А.П. Влияние психофизиологических особенностей личности водителя на надежность управления транспортным средством / А.П. Жигадло, М.Г. Дубынина // Вестник Сибирского отделения Академии военных наук. – 2018. – № 49. – С.119-130.
- 7 Евтюков, С.А. Эффективность оценки человеческого фактора при расследовании дорожно-транспортных происшествий / С.А. Евтюков // Организация и безопасность дорожного движения в крупных городах: 8-я междунар. конф. – СПб.: СПбГАСУ, 2008. – С. 387-389.
- 8 Автотехническая экспертиза дорожно-транспортных происшествий: учебно-методическое пособие / сост.: П.А. Стёпина, Е.В. Тюлькин, Н.В. Подопригора; СПбГАСУ. – СПб., 2018. – 233с.
- 9 Seliverstov, Ya.A. Intelligent systems preventing road traffic accidents in megalopolises in order to evaluate / Ya.A. Seliverstov, Sv.A. Seliverstov, V.I. Komashinskiy, A.A. Tarantsev, N.V. Shatalova, V.A. Grigoriev // Proceedings of 2017 20th IEEE International Conference on Soft Computing and Measurements, SCM 2017. – St. Petersburg, 2017. – P. 489–492.
- 10 Подопригора, Н.В. Системный подход в информационном обеспечении системы «УДД-ТС-Д-ВС» / Н.В. Подопригора // Мир транспорта и технологических машин. – 2022. – № 2(77). – С.70-75.
- 11 Afanasyev, A., Safiullin, R., Kuznetsova, E., Podoprighora, N., Vaga, V. (2022). Conceptual Approaches to Traffic Monitoring Design Under Varying Conditions of Vehicle Traffic. 2022 International Conference on Engineering Management of Communication and Technology, EMCTECH 2022 - Proceedings. DOI: 10.1109/EMCTECH55220.2022.9934067
- 12 Podoprighora, N.V., Marusin, A.V., Pegin, P.A., Karelina, E.A., Akulov, A.A. Systematic Approach in Information Support of the «Road User-Vehicle-Road-External Environment» System. 2022 Systems of Signals Generating and Processing in the Field of on Board Communications, SOSG 2022 - Conference Proceedings, 2022. DOI 10.1109/IEEECONF53456.2022.9744276

References

- 1 Kravchenko, P.A. Factorial management of the level of safety provided on the roads of Russia / P.A. Kravchenko, C.V. Zhankaziev, E.M. Oleshchenko // *Transport of the Russian Federation*. – 2021. – № 5-6(96-97). – Pp. 3-9.
- 2 Kravchenko, P.A. The concept of ensuring "zero mortality" on the roads of Russia as a mechanism to combat the causes of road accidents / P.A. Kravchenko, C.V. Zhankaziev, E.M. Oleshchenko // *Transport of the Russian Federation*. – 2019. – № 4(83). – Pp. 3-7.
- 3 Kravchenko, P.A. System approach in road traffic safety management in the Russian Federation / P.A. Kravchenko, E.M. Oleshchenko // *Transport of the Russian Federation*. – 2018. – № 2(75). – Pp. 14-18.
- 4 GOST R ISO 39001-2014. BDD management systems. Requirements and guidelines for use. – M.: Standartinform, 2015. – 33 p.
- 5 Modern trends in the development of onboard intelligent transport systems: monograph / P.A. Pegin, D.V. Kapsky, V.V. Kasyanik, V.N. Shut; SPbGASU. – St. Petersburg, 2019. – 198 p.
- 6 Zhigadlo, A.P. The influence of psychophysiological features of the driver's personality on the reliability of vehicle management / A.P. Zhigadlo, M.G. Dubynina // *Bulletin of the Siberian Branch of the Academy of Military Sciences*. – 2018. – No. 49. – pp.119-130.
- 7 Yevtyukov, S.A. The effectiveness of human factor assessment in the investigation of road accidents / S.A. Yevtyukov // *Organization and safety of road traffic in large cities: 8th International Conference - St. Petersburg: SPbGASU, 2008. - pp. 387-389.*
- 8 Auto technical expertise of road accidents: educational-methodical manual / comp.: P.A. Stepina, E.V. Tyulkin, N.V. Podoprighora; SPbGASU. – St. Petersburg, 2018. – 233s.
- 9 Seliverstov, Ya.A. Intelligent systems preventing road traffic accidents in megalopolises in order to evaluate / Ya.A. Seliverstov, Sv.A. Seliverstov, V.I. Komashinskiy, A.A. Tarantsev, N.V. Shatalova, V.A. Grigoriev // *Proceedings of 2017 20th IEEE International Conference on Soft Computing and Measurements, SCM 2017. – St. Petersburg, 2017. – P. 489–492.*
- 10 Podoprighora, N.V. System approach in information support of the UDD-TS-D-VS system / N.V. Podoprighora // *World of transport and technological machines*. – 2022. – № 2(77). – Pp.70-75.
- 11 Afanasyev, A., Safiullin, R., Kuznetsova, E., Podoprighora, N., Vaga, V. (2022). Conceptual Approaches to Traffic Monitoring Design Under Varying Conditions of Vehicle Traffic. 2022 International Conference on Engineering Management of Communication and Technology, EMCTECH 2022 - Proceedings. DOI: 10.1109/EMCTECH55220.2022.9934067
- 12 Podoprighora, N.V., Marusin, A.V., Pegin, P.A., Karelina, E.A., Akulov, A.A. Systematic Approach in Information Support of the «Road User-Vehicle-Road-External Environment» System. 2022 Systems of Signals Generating and Processing in the Field of on Board Communications, SOSG 2022 - Conference Proceedings, 2022. DOI 10.1109/IEEECONF53456.2022.9744276

© Подопрighора Н.В., Евтюков С.А., 2023