

МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ АППАРАТА ИНСТРУМЕНТАЛЬНОГО КОНТРОЛЯ И ДИАГНОСТИРОВАНИЯ ВЫСОКОАВТОМАТИЗИРОВАННЫХ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ

METHODOLOGICAL SUPPORT OF THE APPARATUS OF INSTRUMENTAL CONTROL AND DIAGNOSTICS OF HIGHLY AUTOMATED VEHICLES

Рассмотрено формирование комплексного решения вопроса контроля и управления техническим состоянием высокоавтоматизированного транспортного средства (ВАТС) с учетом индивидуализации регламента технического обслуживания и ремонта при прохождении процедуры инструментального контроля. Представлены результаты разработки алгоритмов, структурных моделей диагностирования конструктивных систем ВАТС в ходе проведения инструментального контроля. Разработаны инструменты управления индивидуализацией регламента технического обслуживания и ремонта. Предложена интегрально-масштабируемая полимодель инструментального контроля и диагностирования ВАТС, участвующая в формировании единой автоматизированной функциональной системы технической и информационной интеграции ВАТС, позволяющая осуществить качественный переход к повышению эксплуатационной надежности ВАТС.

Ключевые слова: высокоавтоматизированное транспортное средство, техническое обслуживание и ремонт, техническое состояние, инструментальный контроль, диагностика.

The paper considers the formation of a complex solution to the issue of control and management of the technical condition of a highly automated vehicle (HAV) taking into account the individualization of maintenance and repair routines during the instrumental control procedure. The results of development of algorithms, structural models of diagnostics of HAVs' structural systems during instrumental control are presented. Management tools for individualization of maintenance and repair regulations are developed. There is proposed an integral and scalable polymodel of instrumental control and diagnostics of highly automated vehicles (HAVs), which participates in the formation of a unified automated functional system of technical and information integration of HAV, allowing a qualitative transition to improving its operational reliability.

Keywords: highly automated vehicle, maintenance and repair, technical condition, instrumental control, diagnostics.

Введение

Анализ современных трендов инжиниринга в автомобилестроении показывает, что неизменной остается тенденция заимствования классической компоновочной архитектуры агрегатно-узловой конструкции транспортных средств (ТС) у подавляющего числа автопроизводителей. Такое платформенное решение продолжает оставаться популярным и апробированным среди мировых автоконцернов.

Демонстрируя инновации в разработке новейших конструкций, производители ТС пытаются соответствовать тренду Mobility as a Service, существенно не изменяя пассивную безопасность [1]. Трансформация существующих бизнес-моделей автомобильной промышленности, особенно в эпоху развития цифровой экономики, заставляет производителей все больше отдавать предпочтение ответам на вызовы внешней среды,

нежели вопросам надежности конструкций и увеличения их срока службы [2].

В связи с повышением уровня автоматизации систем управления и переходом от частичной к полной роботизации, наблюдается тенденция к трансформации в цифровое управление высокоавтоматизированными транспортными средствами (ВАТС) путем полного интегрирования в единую автоматизированную функциональную систему технической и информационной интеграции, исключающей человека из процесса управления ТС¹.

Следование тенденции традиционного размещения узлов и агрегатов существенно сдерживает как преобразование компоновочных решений в ВАТС, так и развитие системы их обслуживания (ТОиР). При таких перспективах развития достичь существенных изменений показателей эксплуатационной надежности до более высокого уровня не представляется возможным.

Решение данной проблемы достигается путем формирования методологии комплексного подхода к контролю и управлению техническим состоянием ВАТС на всех этапах его жизненного цикла. Предложенная концепция реализуется посредством разработки инструментов управления индивидуализацией регламента ТОиР, позволяющих обеспечить конструктивным системам необходимую эксплуатационную надежность.

Методы

Предложенные алгоритмы и структурные модели диагностирования конструктивных систем рассматриваются с позиции системного подхода к оценке и контролю технического состояния ВАТС, оснащенного КФС [3, 4]. Вводится термин «индивидуальный регламент ТОиР (ИР ТОиР)», позволяющий предложить как водителям, так и пользователям ВАТС индивидуальную програм-

му технического обслуживания и ремонта, учитывающую их режим, стиль вождения и условия эксплуатации. Разработана структурная логическая схема этапа эксплуатации в жизненном цикле ВАТС посредством внедрения ИР ТОиР (рис. 1).

Схема основана на оснащении КФС серийного базового ТС с последующей его трансформацией в промышленный интернет вещей (ПИВ) [5–7]. Представленная схема позволяет описать текущий этап развития удаленного мониторинга за счет внедрения КФС и интегрирования большого объема данных в ПИВ [8–13].

Передача сведений о техническом состоянии ВАТС с последующим принятием решения по организации обслуживания (на основе ИР ТОиР) способствует формированию и анализу «цифровой тени» эксплуатации ВАТС.

В рассматриваемой эволюции КФС и интегрирования данных в ПИВ система управления эксплуатационной надежностью ВАТС может быть представлена в виде интегрально-масштабируемого полимодельного комплекса, содержащего в себе инструменты контроля и управления системами конструктивной безопасности $S(z_i)$. Предложенный подход позволяет обеспечивать эффективное управление и контроль в режиме реального времени эксплуатации ВАТС путем ранее построенных диагностических моделей [14–16].

В дальнейшем это позволит сформировать структурную модель объекта диагностирования (ВАТС), направленную на решение следующих задач:

- оценку выполняемых функций модулей ВАТС;
- определение режимов его работы, состава элементов и построение информационных каналов между ними;
- обнаружение каналов обратных связей и оценка возможности их разрыва в момент диагностирования;

¹ ГОСТ Р 70249-2022. Системы искусственного интеллекта на автомобильном транспорте. Высокоавтоматизированные транспортные средства. Термины и определения. М. ФГБУ «РСТ», 2022.

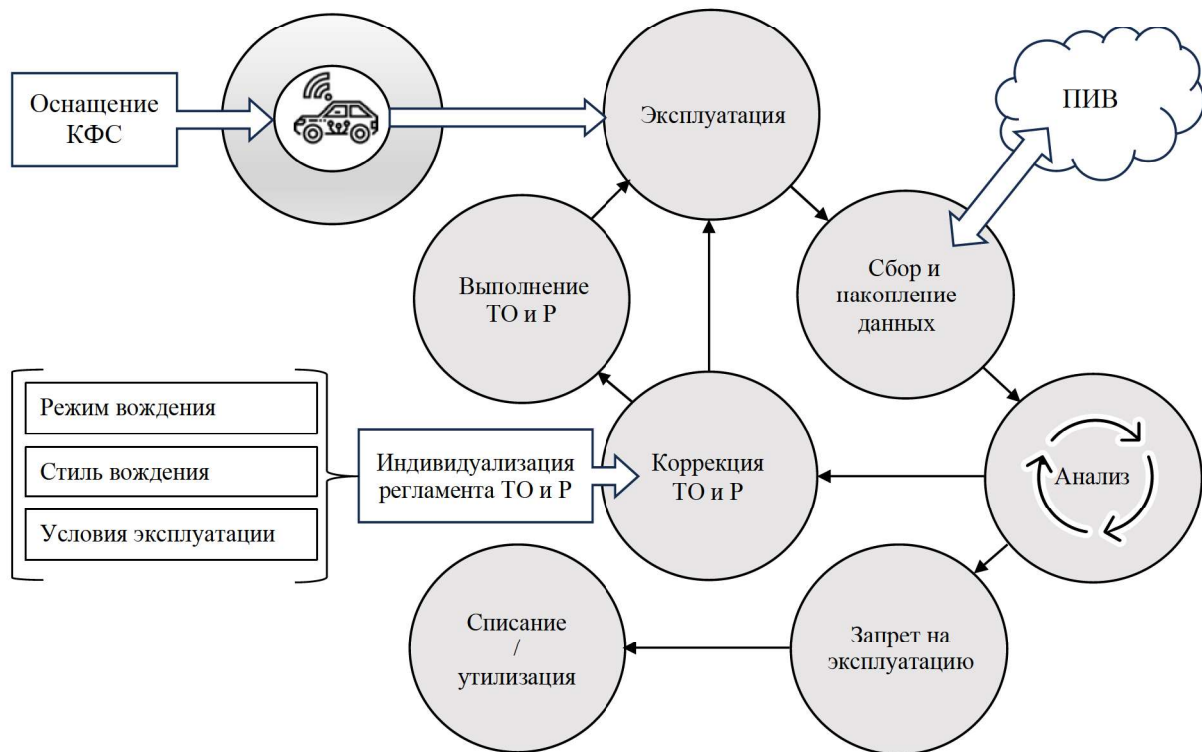


Рис. 1. Структурная логическая схема этапа эксплуатации в жизненном цикле БАТС

- выявление признаков и определение параметров нормального функционирования системы и рабочих сигналов;
- определение диапазонов измерения параметров при нормальном функционировании;
- выявление характерных отказов конструктивных элементов систем БАТС и их сопряжений с другими системами и т. д.

Для создания эффективной системы инструментального контроля и диагностирования конструктивных систем БАТС представляется целесообразным формирование методологической базы, отличающейся следующими признаками:

- сформулированной целью;
- наличием многоуровневой декомпозиции;
- построением каналов управления и обратной связи между подсистемами;
- анализом и синтезом фрагментов, направленных на достижение поставленной цели.

При создании эффективных инструментов контроля и диагностирования технического состояния БАТС системный подход рассматривается как согласованный выбор альтернатив между современными конструктивными решениями и технологическими возможностями, сложностью программных комплексов и степенью автоматизации, глубиной проводимого диагностирования, надежностью и стоимостью.

Важно отметить, что при таком подходе необходимо решить диагностические задачи, связанные с контролем технического состояния и с выявлением дефектов на этапе обкатки, в процессе эксплуатации, на стадии ремонта. Эти задачи являются выражением двух фундаментальных подходов общей теории систем, а именно:

- контроль как выражение функционального подхода;
- обнаружение дефектов как выражение структурного подхода.

При создании диагностической модели, применяемой для поиска дефектов, важно учитывать ее индивидуальные особенности, и для этого целесообразно предложить алгоритм морфологического анализа объекта диагностирования (рис. 2) [17].

Любая рассматриваемая конструктивная система ВАТС как объект инструментального контроля и диагностирования представляет собой совокупность функциональных устройств, отличающихся по своему содержанию, назначению и принципу работы. Процесс ее диагностирования неразрывно связан с передачей стимулирующих сигналов, изменением реакций и обработкой потока информационных данных по сформированным алгоритмам с целью получения фактических значений контролируемых параметров.

Как показывает опыт экспертных исследований, характерной особенностью наблюдаемых при инструментальном контроле сигналов является наличие в их составе возмущений (помех), источником которых может служить и сама диагностируемая система.

Результаты

На основании ранее проведенных исследований и опубликованных работ автором разработана интегрально-масштабируемая полимодель инструментального контроля и диагностирования ВАТС (рис. 3) [14–16].

Автором статьи вводится новое понятие «индивидуальный регламент технического обслуживания и ремонта (ИР ТО и Р)» — комплекс регламентированных заводом-изготовителем мероприятий (операций), направленных на поддержание работоспособности ВАТС и/или его узлов (систем) и агрегатов с учетом индивидуальных особенностей водителя/пользователя ВАТС (стиля, режима вождения), условий эксплуатации с целью прогнозирования остаточного ресурса расходных материалов (деталей), снижения риска возникновения отказов и неисправностей.

Отличительной особенностью ИР ТОиР является возможность адаптивного управления эксплуатационной надежностью ВАТС на протяжении его полного жизненного цикла на основании предоставляемой в режиме реального времени информации о фактическом состоянии ВАТС или конкретного конструктивного элемента.

Выводы

Корректно выбранная диагностическая модель может не только служить для определения связей между диагностическими сигналами и параметрами состояния, но и в значительной степени способствовать предопределению выбора способов решения задач, достигая максимальной объективности при диагностических исследованиях [18, 19].

Применение диагностических моделей может способствовать установлению связей между параметрами состояния и измерения, а также составлению алгоритмов технического диагностирования исследуемых объектов.

Для каждого состояния объекта с учетом влияния времени продолжительности эксплуатации (t) автором предложены математические модели в виде выходных функций.

Модель исправного состояния объекта диагностирования ВАТС можно представить в виде

$$z^{\text{итог}} = f(x_m, y_n t),$$

где $z^{\text{итог}}$ — параметр технического состояния; x_m — входная переменная; y_n — внутренняя переменная.

Модель для i -го неисправного состояния диагностируемой системы:

$$z^{\text{итог } i} = f^i(x_m, y_n^i t).$$

При разработке алгоритмов диагностирования необходимо учитывать количество и содержание проводимых операций ϵ_j , где $j = 1, 2, 3$. Каждое действие (операция) расценивается как информационный запрос δ_j , необходимый для получения обратной связи о состоянии диагностируемой системы.



Рис. 2. Алгоритм морфологического анализа объекта диагностирования

Значение воздействия φ_j при элементарной проверке $\varepsilon_j \in \Pi$ определяется составом входной переменной x_m и последовательностью времени t их значений x_p , включая ис-

ходное значение внутренних переменных y^i . Результат проверки ε_j описывается составом $[y]$ контрольных точек и значений R_j^i , зависящих от технического состояния объекта

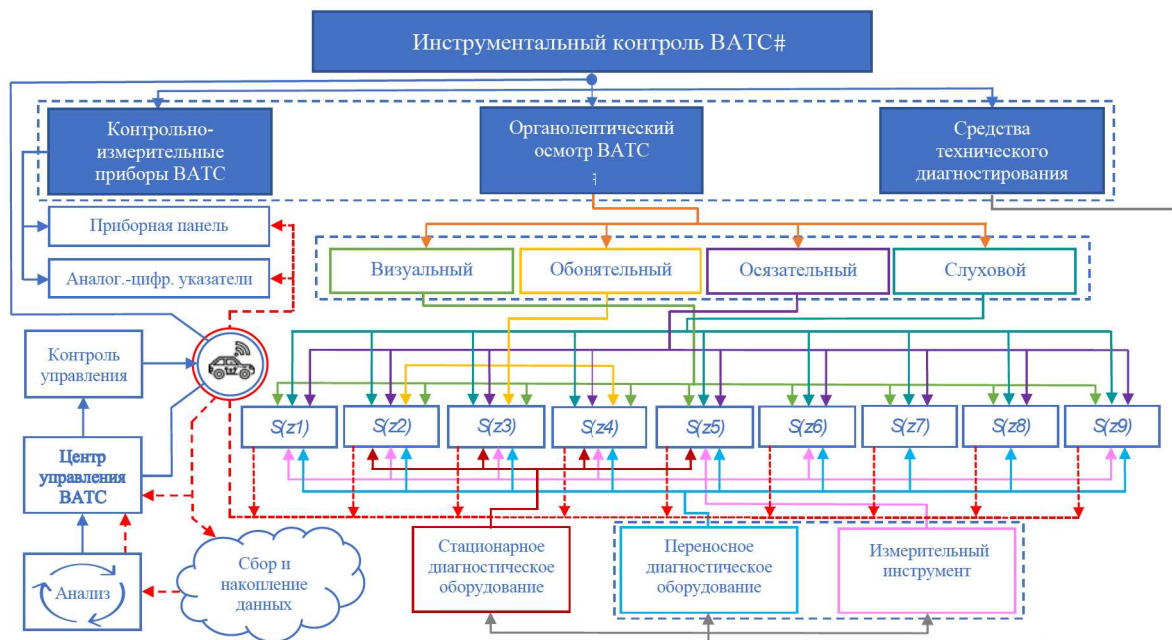


Рис. 3. Интегрально-масштабируемая полимодель инструментального контроля и диагностирования VATC:
 $S_{(z1)} \dots S_{(z9)}$ — системы конструктивной безопасности

диагностирования. Таким образом, в общем виде R_j^i можно представить последовательность $[y]_j$ — мерных векторов и описать как функцию значения j_j воздействия:

$$R_j^i = f(j_j, [y]_j).$$

На основании вышеизложенного упрощенный вариант для исправной диагностируемой системы принимает вид:

$$R_j = f(\epsilon_j).$$

Следовательно, для неисправной системы

$$R_j^i = f(\epsilon_j).$$

Применение аналитических моделей может способствовать как решению оптимизационных задач, так и получению соотношения между состояниями объекта диагностирования, его измеряемых параметров и качественных показателей.

Библиографический список

1. Hietanen S. «Mobility as a Service» – The new transport model? Eurotransport. 2014. Vol. 12. Iss. 2. URL: <https://silo.tips/download/sampo-hietanen-ceo-its-finland> (accessed: 20.01.2023).
2. Ланидус Л. В., Шорохова Л. В. Трансформация бизнес-моделей в автомобильной промышленности

в условиях развития беспилотных технологий // Интеллект. Инновации. Инвестиции. 2023. № 2. С. 19–33. URL: <https://doi.org/10.25198/2077-7175-2023-2-19>.

3. Кравченко П. А., Олещенко Е. М. Системный подход в управлении безопасностью дорожного движения в Российской Федерации // Транспорт Российской Федерации. 2018. № 2 (75). С. 14–18.

4. Кравченко П. А., Жанказиев С. В., Олещенко Е. М. Пофакторное управление уровнем обеспечиваемой безопасности на дорогах России // Транспорт Российской Федерации. 2021. № 5-6 (96-97). С. 3–9.

5. Жанказиев С. В., Воробьев А. И., Морозов Д. Ю. Тенденции развития автономных интеллектуальных транспортных систем в России // Транспорт Российской Федерации. 2016. № 5 (66). С. 26–28.

6. Солодкий А. И. Развитие интеллектуальных транспортных систем в России: проблемы и пути их решения. Новый этап // Интеллект. Инновации. Инвестиции. 2020. № 6. С. 10–19.

7. Воробьев А. И., Жанказиев С. В., Иванов С. А., Коробеев А. И., Маликов С. В., Чучаев А. И. Беспилотники на дорогах России (уголовно-правовые проблемы) / под. ред. А. И. Чучаева. М.: Проспект, 2022. 520 с.

8. Matthew N. O. Sadiku, Mahamadou Tembely, and Sarhan M. Musa. Internet of Vehicles: An Introduction. International Journals of Advanced Research in Computer Science and Software Engineering ISSN: 2277-128X (Volume-8, Issue-1), 2018. Pp. 11–13. DOI: 10.23956/ijarcsse.v8i1.512

9. Cheng J., et al. Routing in Internet of vehicles: a review. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*. Vol. 16. № 5. October 2015, pp. 2339–2352.

10. Yi He, Alireza Jolfaei, and Xi Zheng. Cyber-Physical Systems in Transportation. *Intelligent Cyber-Physical Systems for Autonomous Transportation*, January 2022. Pp. 129–149. Chapter:8. DOI:10.1007/978-3-030-92054-8_8.

11. Deka L., Khan, S. M., Chowdhury M. & Ayres N. Transportation cyber-physical system and its importance for future mobility // *Transportation cyber-physical systems*. 2018. Pp. 1–20.

12. Lin J., Yu W., Yang X., Yang Q., Fu X. & Zhao W. A real-time en-route route guidance decision scheme for transportation-based cyber physical systems // *IEEE Transactions on Vehicular Technology*. 2017. 66 (3). Pp. 2551–2566.

13. Osman Lindov, Amel Kosovac, Amel Kosovac. A new step forward of industry 4.0 in transport and logistic. *International Scientific Conference “Application of Industry 4.0 – An opportunity for a new step forward in all industrial branches”*. April 14. 2022 ANU BiH, Sarajevo, Bosnia and Herzegovina. DOI:10.5644/PI2022.202.26.

14. Подопригора Н. В., Васильев Я. В. Модели управления эксплуатационной надежностью высокоавтоматизированных транспортных средств // *Грузовик: научно-технический и производственный журн.* 2023. № 8. С. 20–24.

15. Подопригора Н. В. Структура и функционирование системы «Водитель–автомобиль–дорога–внешняя среда» // *Вестник гражданских инженеров*. 2022. № 2 (91). С. 154–159.

16. Подопригора Н. В., Евтюков С. А. Перспективные модели оценки технического состояния тормозных систем высокоавтоматизированных транспортных средств // *Воронежский научно-технический вестник*. 2023. Т. 2, № 2 (44). С. 65–70. DOI: 10.34220/2311-8873-2023-65-70.

17. Мигаль В. Д. Техническая диагностика автомобилей. Теоретические основы. Харьков: Майдан, 2014. 516 с.

18. Жилейкин М. М., Котиев Г. О. Моделирование систем транспортных средств. М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2020. 239 с.

19. Шаошань Лю, Лиюнь Ли, Цзе Тан, Шуаш Ву, Годье Жан-Люк. Разработка беспилотных транспортных средств / науч. ред. В. С. Яценков; пер. с англ. П. М. Бамбоковой. М.: ДМК Пресс, 2022. 246 с.

References

1. Nietanen S. «Mobility as a Service» – The new transport model? *Eurotransport*, 2014, vol. 12, no. 2. Available at: <https://silo.tips/download/sampo-nietanen-ceo-its-finland> (accessed: 20.01.2023).

2. Lapidus L. V., Shorokhova L. V. *Transformatsiya biznes-modeley v avtomobil'noy promyshlennosti v usloviyakh razvitiya bespilotnykh tekhnologiy* [Transformation of business models in the automotive industry in the conditions of unmanned technologies' development]. *Intellekt. Innovatsii. Investitsii – Intellect. Innovations. Investments*, 2023, no. 2, pp. 19–33. Available at: <https://doi.org/10.25198/2077-7175-2023-2-19>.

3. Kravchenko P. A., Oleshchenko E. M. *Sistemnyi podkhod v upravlenii bezopasnost'yu dorozhnogo dvizheniya v Rossiyskoy Federatsii* [System approach in the management of road traffic safety in the Russian Federation]. *Transport Rossiyskoy Federatsii – Transport of the Russian Federation*, 2018, no. 2 (75), pp. 14–18.

4. Kravchenko P. A., Zhankaziev S. V., Oleshchenko E. M. *Pofaktornoe upravlenie urovнем obespechivaemoy bezopasnosti na dorogakh Rossii* [Factorial management of the level of ensured safety on the roads of Russia]. *Transport Rossiyskoy Federatsii – Transport of the Russian Federation*, 2021, no. 5-6 (96-97), pp. 3–9.

5. Solodkiy A. I. *Razvitie intellektual'nykh transportnykh sistem v Rossii: problemy i puti ikh resheniya. Novyi etap* [Development of intelligent transportation systems in Russia: problems and ways of their solution. A new stage]. *Intellekt. Innovatsii. Investitsii – Intellect. Innovations. Investments*, 2020, no. 6, pp. 10–19.

6. Zhankaziev S. V., Vorobev A. I., Morozov D. Yu. *Tendentsii razvitiya avtonomnykh intellektual'nykh transportnykh sistem v Rossii* [Trends in the development of autonomous intelligent transportation systems in Russia]. *Transport Rossiyskoy Federatsii – Transport of the Russian Federation*, 2016, no. 5 (66), pp. 26–28.

7. Vorobev A. I., et al. *Bespilotniki na dorogakh Rossii (ugolovno-pravovye problemy)* [Drones on the roads of Russia (criminal-legal problems)]. Ed. by Chuchayev A. I. Moscow, Prospekt Publ., 2022, 520 p.

8. Matthew N. O. Sadiku, Mahamadou Tembely, Sarhan M. Musa. *Internet of Vehicles: An Introduction. International Journals of Advanced Research in Computer Science and Software Engineering*, ISSN: 2277-128X, 2018, vol 8, iss. 1, pp. 11–13. DOI: 10.23956/ijarcse.v8i1.512

9. Cheng J., et al. Routing in Internet of vehicles: a review. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, October 2015, vol. 16, no. 5, pp. 2339–2352.

10. Yi He, Alireza Jolfaei, and Xi Zheng. Cyber-physical systems in transportation. *Intelligent Cyber-Physical Systems for Autonomous Transportation*, January 2022, pp. 129–149, chapter 8. DOI:10.1007/978-3-030-92054-8_8.

11. Deka L., Khan, S. M., Chowdhury M., & Ayres N. *Transportation cyber-physical system and its importance for future mobility*. Transportation cyber-physical systems. Elsevier Publ., 2018, pp. 1–20.

12. Lin J., et al. A real-time en-route route guidance decision scheme for transportation-based cyber physical systems. *IEEE Transactionson Vehicular Technology*, 66 (3), pp. 2551–2566.

13. Osman Lindov, Amel Kosovac, Amel Kosovac. A new step forward of industry 4.0 in transport and logistics. *International Scientific Conference “Application of Industry 4.0 – An opportunity for a new step forward in all industrial branches”*. April 14, 2022. ANU BiH, Sarajevo, Bosnia and Herzegovina. DOI:10.5644/PI2022.202.26.

14. Podoprigora N. V., Vasil'ev Ya. V. *Modeli upravleniya ekspluatatsionnoy nadezhnost'yu vysokoavtomatizirovannykh transportnykh sredstv* [Models of management of operational reliability of highly automated vehicles]. *Gruzovik: nauchno-tekhnicheskii i proizvodstvennyi zhurnal – Truck: Scientific-Technical and Production Journal*, 2023, no. 8, pp. 20–24.

15. Podoprigora N. V. *Struktura i funkcionirovanie sistemy «Voditel'-avtomobil'-doroga-vneshnyaya sreda»* [Structure and functioning of the system “Driver-automobile-road-external environment”]. *Vestnik*

grazhdanskikh inzhenerov – Bulletin of Civil Engineers, 2022, no. 2 (91), pp. 154–159.

16. Podoprigora N. V., Evtyukov S. A. *Perspektivnye modeli otsenki tekhnicheskogo sostoyaniya tormoznykh sistem vysokoavtomatizirovannykh transportnykh sredstv* [Perspective models of an estimation of technical condition of brake systems of highly automated vehicles]. *Voronezhskiy nauchno-tekhnicheskii vestnik – Voronezh Scientific and Technical Bulletin*, 2023, vol. 2, no. 2 (44), pp. 65–70. DOI : 10.34220/2311-8873-2023-65-70.

17. Migal' V. D. *Tekhnicheskaya diagnostika avtomobiley. Teoreticheskie osnovy* [Technical diagnostics of automobiles. Theoretical bases]. Khar'kov, Maydan Publ., 2014, 516 p.

18. Zhileykin M. M., Kotiev G. O. *Modelirovanie sistem transportnykh sredstv* [Modeling of vehicle systems]. Moscow, MGTU im. N.E. Bauman Publ., 2020, 239 p.

19. Shaoshan' Lyu, Liyun' Li, Tsze Tan, Shuash Vu, God'e Zhan-Lyuk. *Razrabotka bespilotnykh transportnykh sredstv* [Development of unmanned vehicles]. Ed. by Yatsenkov V.S., transl. From English by Bambokova P. M. Moscow, DMK Press Publ., 2022, 246 p.