

Научная статья
Статья в открытом доступе
УДК 67.02
doi: 10.30987/2782-5957-2024-12-70-77

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ И УПРАВЛЕНЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ПРИ РЕМОНТЕ И ТЕХНИЧЕСКОМ ОБСЛУЖИВАНИИ ПАССАЖИРСКИХ ВАГОНОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ «ЦИФРОВЫХ ДВОЙНИКОВ»

Андрей Сергеевич Шинкарук^{1✉}, Михаил Юрьевич Куликов², Александр Владимирович Барышников³

^{1,2,3} Российский университет транспорта (РУТ (МИИТ)), Москва, Россия

¹ Shinkarukas@mail.ru

² muk.56@mail.ru

³ alexbar93@yandex.ru

Аннотация

Совершенствование системы технического обслуживания и ремонта пассажирского подвижного состава с учетом ввода его новых типов и моделей всегда является актуальным. Обеспечение эффективного использования сложных инженерных конструкций, к которым относится и пассажирский вагон наиболее целесообразно осуществлять путем мониторинга его фактического технического состояния и изменения работы элементной базы, что достигается путем использования дистанционного диагностического оборудования, в функционал которого входит передача информации от соответствующего узла к микропроцессорному блоку управления, трансформируя получаемые цифровые коды в индикативные информационные сообщения, информируя на индикационной панели возможные технические неисправности.

Необходимо констатировать тот факт, что пассажирские вагоны, изготовленные в конце XX, начала XXI века, системами технической диагно-

стики не оборудовались и учитывая их малый остаточный срок службы в настоящее время экономически нецелесообразно оборудовать их данными системами, что приводит к необходимости поиска иных решений для проведения мониторинга и анализа работоспособности систем жизнеобеспечения.

Целью исследования является разработка технологии оперативной передачи данных о возникающих в пути следования технических неисправностях элементов пассажирских вагонов, принятия мер к их устранению, а также систематизация полученных статистических данных по отказам сервисного оборудования (далее – СО), его анализа и последующей выработке решений по повышению качества и поддержания высокого уровня комфорта при путешествии в пассажирских поездах.

Ключевые слова: вагон, система, отказ, анализ, сервисное оборудование, цифровой двойник.

Ссылка для цитирования:

Шинкарук А.С. Совершенствование производственных и управленческих процессов при ремонте и техническом обслуживании пассажирских вагонов с использованием «цифровых двойников» / А.С. Шинкарук, М.Ю. Куликов, А.В. Барышников // Транспортное машиностроение. – 2024. – №12. – С. 70-77. doi: 10.30987/2782-5957-2024-12-70-77.

Original article
Open Access Article

IMPROVEMENT OF PRODUCTION AND MANAGEMENT PROCESSES DURING REPAIRS AND MAINTENANCE OF PASSENGERS CARS USING "DIGITAL TWINS"

Andrey Sergeevich Shinkaruk^{1✉}, Mikhail Yuryevich Kulikov², Aleksandr Vladimirovich Baryshnikov³

^{1,2,3} Russian University of Transport, Moscow, Russia

¹ Shinkarukas@mail.ru

² muk.56@mail.ru

³ alexbar93@yandex.ru

Abstract

Improvement of maintenance and repair of passenger rolling stock, taking into account the introduction of its new types and models, is always relevant. Ensuring the effective use of complex engineering structures, which include the passenger car, is most appropriately carried out by monitoring its actual technical condition and changing the operation of the element base, which is achieved by using remote diagnostic equipment, which functionality includes transmitting information from the corresponding node to the microprocessor control unit, transforming the received digital codes in indicative information messages, displaying possible technical malfunctions on the panel.

It is necessary to state the fact that passenger cars manufactured at the end of the 20th, beginning of the 21st century were not equipped with technical di-

agnostic systems and, given their short remaining service life, it is currently economically inexpedient to equip them with these systems, which leads to the need to find other solutions for monitoring and analyzing the operability of their systems.

The study objective is to develop a technique for the rapid transmission of data on technical malfunctions of passenger car elements occurring along the route, taking measures to eliminate them, as well as systematization of the statistical data obtained on failures of service equipment, its analysis and subsequent development of solutions to improve quality and maintain a high level of comfort when traveling on passenger trains.

Keywords: car, system, failure, analysis, service equipment, digital twin.

Reference for citing:

Shinkaruk AS, Kulikov MYu, Baryshnikov AV. Improvement of production and management processes during repairs and maintenance of passenger cars using "digital twins". *Transport Engineering*. 2024;12: 70-77. doi: 10.30987/2782-5957-2024-12-70-77.

Введение

Существует одно из основных условий чтобы промышленность успешно развивалась, это постоянное совершенствование в различных направлениях деятельности. По мере того, как развивается технический прогресс в той или иной отрасли, а также какие этапы проходят или уже пройдены он всегда будет двигаться по пути минимизации или полного исключения ручного труда и перехода его на автоматизацию. Цифровизация управленческих решений и производственных процессов в современном мире является одним из приоритетных факторов для успешной организации и реализации поставленных задач в любом промышленном предприятии [1].

По мнению специалистов, среди основных направлений деятельности в вопросах «цифровизации» и создания «цифровых двойников» стоит выделять: формирование и мониторинг выполнения производственных планов и задач; системный анализ и контроль качества выпускаемой (ремонтируемой) продукции на всех ее производственных циклах; контроль за содержанием средств метрологического контроля; обеспечением соблюдения норм охраны труда и безопасного производства; управление экономическими и производственными показателями деятельности;

автоматизацию процесса установления корневых причин недостатков функционирования предприятия, а также формирования, реализации и совершенствования процессов производства и управленческих решений.

Реализация данных инициатив в цифровом пространстве позволяет сформировать фундамент для перехода процесса или физического объекта в киберфизическую плоскость с созданием «цифрового двойника» [2]. Такими примерами могут стать «цифровые двойники» предприятий, изделий, технологических процессов и т.д. [3].

Набирающая популярность система облачного хранения данных также способствует созданию и использованию механизма «цифрового двойника», подобное решение прямой путь к полному переходу на цифровую деловую переписку, перевод всех документов и архивных данных в цифровой формат. Все это приводит к тому, что существующие управленческие процессы должны изменяться и переходить на новый, более высокий уровень для ускорения анализа данных в части предоставления рекомендаций при принятии оптимального решения, проведение оперативного анализа поступающей информа-

ции в больших объемах (*Big Data*), а также ускорения поиска необходимой информации.

Формирование «цифровых двойников» должно осуществляться на всех этапах жизненного цикла от согласования технического задания на стадии изготовления (пассажирского вагона) до его утилизации. Таким образом «цифровой двойник» какого – либо процесса или объекта

может помочь внести как незначительную оптимизационную корректировку в структуру выполнения технологических операций, так и привести к глобальной трансформации и переходу на совершенно новую концепцию организации производства, ремонта или технического обслуживания, которая может коренным образом отличаться от существующей процессной модели.

Использование «цифровых двойников» в производственных и управленческих процессах ремонта и технического обслуживания пассажирских вагонов

Реализация концептуальных задач по созданию и развитию «цифровых двойников» с относительно недавнего времени началась использоваться и в пассажирском сообщении дальнего следования [4]. В инициативном порядке в рамках проведения мероприятий по цифровой трансформации в АО «Федеральная пассажирская компания» создан цифровой продукт по анализу и сопровождению пассажирских поездов в пути следования, включающий контроль поддержания в работоспособном состоянии систем жизнеобеспечения пассажирских вагонов в исправном состоянии и поддержании комфортных условий для пассажиров на протяжении всего рейса (свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2023680679) [5].

Данная «цифровая платформа» (программа ЭВМ) является объединением цифрового диспетчерского центра, системы (облачного) хранения, а также модуля автоматической обработки данных, систематизации и анализа [6]. Работа в данной «цифровой платформе» доступна для всех зарегистрированных пользователей, находящихся в различных субъектах страны. Взаимодействие пользователей с программой ЭВМ осуществляется через браузеры *Google Chrome* или Яндекс, а сама программа написана с использованием языков программирования *PHP* и *JavaScript*.

На рис. 1 представлен алгоритм работы данной программы с разбивкой на отдельные исполнительские блоки:

– блок 1, отвечает за обработку первичных данных, контроль и сопровождение отказов сервисного оборудования (далее – ОСО) – «диспетчерский центр»;

– блок 2, отвечает за обмен и сохранение информации – «база данных»;

– блок 3, отвечает за систематизацию и анализ данных – «система отчетности».

Так, в блоке «диспетчерский центр» принимаются заявки в режиме реального времени от начальников пассажирских поездов (ЛНП) при возникновении технических неисправностей в работе систем жизнеобеспечения вагона, которые возникают в процессе движения состава с их регистрацией и сохранением в электронной базе данных (электронном архиве). После того, как отдельная заявка сформировалась в базе данных, она отображается на веб-сервере в формате карточки отказа ОСО, с возможностью редактирования и просмотра всеми причастными к данному отказу пользователями. При дальнейшей работе зарегистрированные пользователи осуществляют взаимодействие друг с другом и дополняют карточку отказа материалами расследования. Любые изменения данных в карточке отказа ОСО мгновенно отображаются на веб-сервере, при этом внешний вид записи об отказе ОСО изменяется при достижении определенного времени с момента ее создания.

Функциональный блок «база данных» является недоступным для большинства пользователей. В данном блоке автоматически осуществляется сохранение, упорядочивание и изменение информации, вносимой в карточку отказа. При этом, данный функциональный блок является главным звеном в работе «цифровой платформы», без которого осуществить выполнение основного функционала программного комплекса невозможно.

В функциональном блоке «система отчетности» возможно производить в ав-

томатическом режиме обработку сохраненной информации, которая заключается в категорировании и подсчете численных значений данных по запрограммированным алгоритмам, с дальнейшим выводом необходимых данных в формате электронных отчетов, в соответствии с предложенными шаблонами.

Отчеты о результатах расследования случаев ОСО доступны всем пользователям для просмотра и скачивания без ограничений. При необходимости пользователи могут просматривать отчеты в усеченном формате, который настраивается ими самостоятельно. Период обработки может быть различным (сутки, неделя, месяц, квартал, год и т.д.).

Полученная информация позволяет осуществлять проведение подробного анализа для идентификации видов потенциальных отказов, причин их возникновения, а также влияния на функционирование системы жизнеобеспечения вагона.

Наиболее эффективным способом решения данной задачи является использо-

вание анализа видов, последствий и критичности отказов *FMECA* [7]. Анализ *FMECA* позволяет определить наиболее критичные неисправности оборудования с дальнейшей их группировкой и ранжированием по причинам возникновения, уровню влияния на функционирование объекта или системы в целом, а также возможности обнаружения или диагностирования неисправности данного узла в процессе эксплуатации или ремонта вагона.

По результатам анализа формируются матрицы риска, которые позволяют в доступной и наглядной форме определить конкретные узлы и детали оборудования, которые чаще всего приводят к системным отказам и имеют наибольший ущерб для функционирования вагона, с разбивкой на наиболее вероятные причины возникновения неисправностей, а также разрабатываются корректирующие мероприятия, предназначенные для устранения причин возникновения отказов ОСО и минимизации их повторяемости.

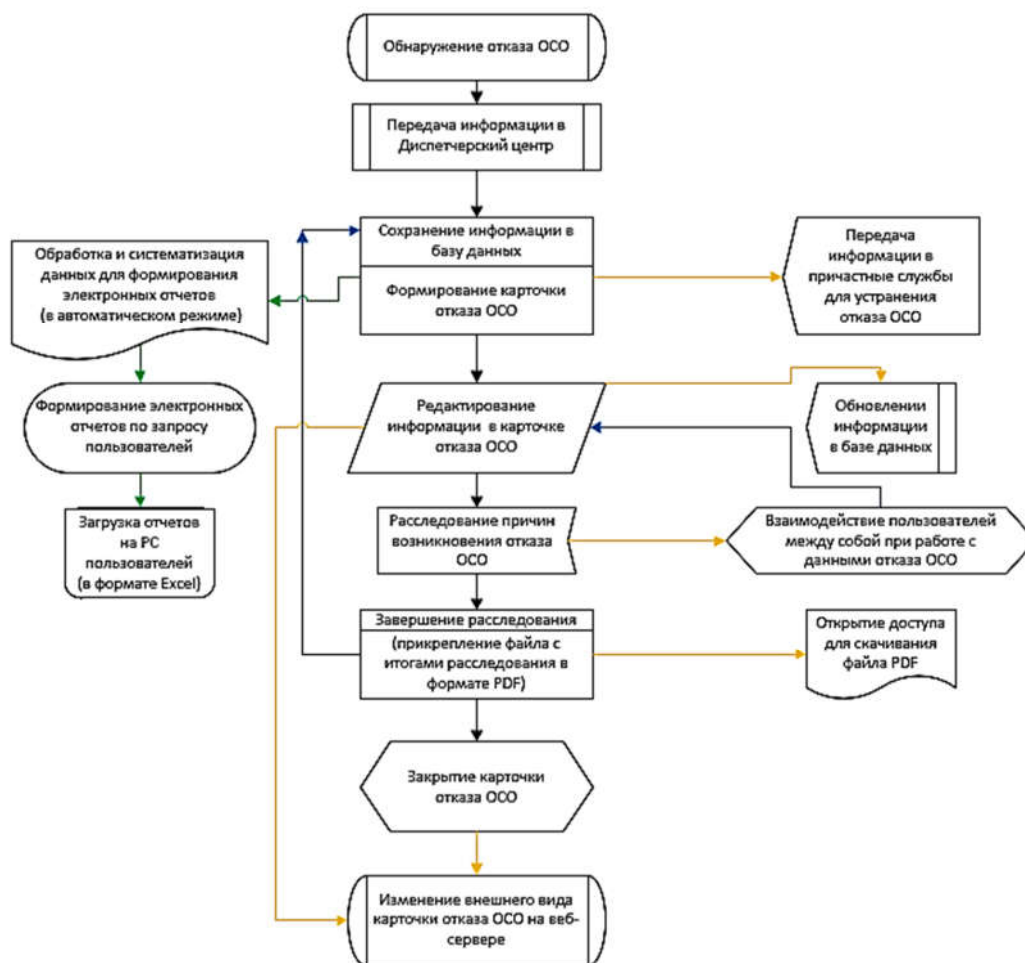


Рис. 1. Функциональная блок схема программы ЭВМ [5]
Fig. 1. Functional block diagram of the computer program [5]

В результате проведения корректирующих мероприятий осуществляется контрольный срез, позволяющий оценить их эффективность. При положительном эффекте от реализации мероприятий будет наблюдаться тенденция к уменьшению количества аналогичных отказов ОСО. В противном случае будет или нулевой эф-

фект (количество отказов останется на прежнем уровне) или отрицательная динамика [8]. Таким образом потребуются повторное проведение анализа *FMECA* с учетом полученных ранее знаний и опыта по диагностике и устранению отказов ОСО. Как показано на рис. 2, существует общий алгоритм проведения анализа *FMECA*.

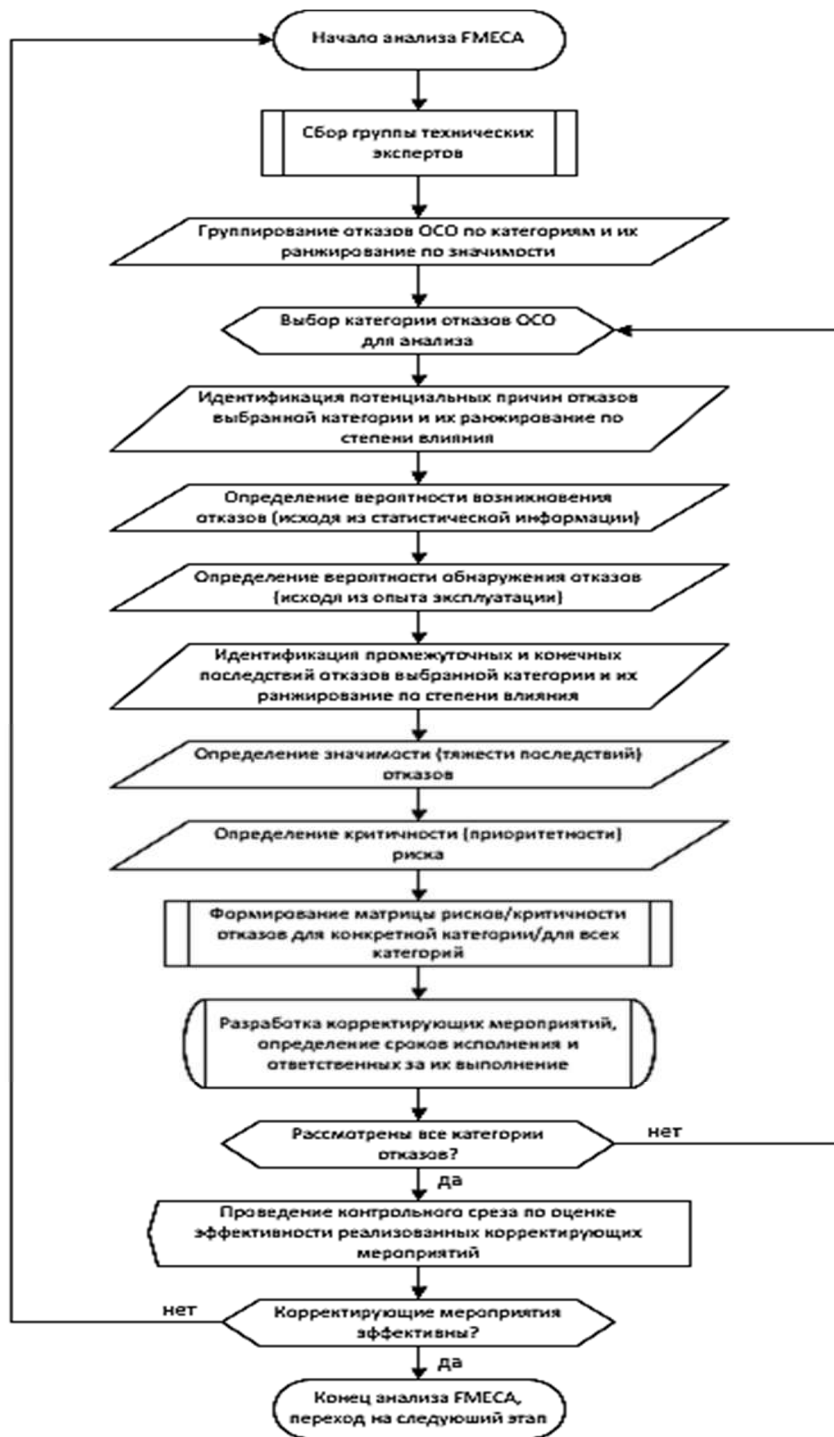


Рис. 2. Алгоритм проведения анализа *FMECA*
 Fig. 2. *FMECA* analysis algorithm

Информация, полученная в результате исследований, позволяет принимать своевременные решения по изменению конструкции (модернизации) оборудования, настройке или корректировке про-

Заключение

Формируемая аналитика позволяет систематизировать информацию о количестве и характере отказов ОСО, которая может быть использована в двух направлениях.

1. Накопленная статистическая информация значительно упростит работу диспетчерского центра, а также повысить вероятность того, что возникшие неполадки ОСО будут устранены поездными электромеханиками в пути следования, без обращения к помощи специалистов на промежуточных станциях. Данная возможность достигается за счет того, что в случае отказа ОСО диспетчер получает сведения о характере неисправности и в режиме реального времени (с учетом статистической информации) анализирует возможные пути решения по установлению причины проблемы и алгоритм ее устранения. Полученную из вероятностной модели информацию диспетчер сообщает поезвному электромеханику, который в свою очередь восстанавливает вышедшее из строя оборудование, используя запасные части, находящиеся в технической аптечке поезда.

2. Статистические данные будут использоваться при проведении плановых ремонтов и технических видов обслуживания пассажирских вагонов. По мере того, как вагоны проходят техническое обслуживание и ремонт диспетчер вагонного депо (начальник производственного участка или мастер) производит сбор информации из системы ОСО, позволяющей ему установить все неисправности в системах оборудования конкретного вагона, произошедшие в течение определенного периода времени. С помощью данной инфор-

граммного обеспечения сложных электронных систем, от бесперебойной работы которых зависит общий уровень надежности функционирования систем жизнеобеспечения вагона.

можно акцентировать внимание на наиболее уязвимых узлах и деталях, а также провести соответствующие профилактические мероприятия для диагностики и замены деталей с наибольшей степенью износа или суммарной наработкой [9].

Подобное применение аспектов цифровизации в разрезе «цифрового двойника» в значительной мере позволяет упростить и ускорить процесс диагностики сложных систем, предупредить возникновение зарождающихся или скрытых дефектов, а также предотказных состояний наиболее ответственных узлов и деталей вагонов на этапах проведения технического обслуживания и планового ремонта.

Помимо этого, применение подобных технологий дает возможность наладить тесное взаимодействие с производителями оборудования и анализировать качество выпускаемой продукции для фиксации наиболее уязвимых мест и их совершенствования. Это позволит повысить эффективность оборудования, его ресурс и безопасность.

Стоит отметить, что процесс совершенствования системы цифровой трансформации еще далек от идеала, а развитие систем предиктивной аналитики в дальнейшем позволит еще больше автоматизировать процесс сбора и обработки информации и, в конечном итоге, исключить участие человека в промежуточных и вспомогательных процессах, сведя его участие от полного сопровождения до контроля за процессами и техническому обслуживанию (обновлению) оборудования и его программного обеспечения [10].

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Княгин В.Н. Цифровая трансформация: бизнес-модели и рыночные игроки / В.Н. Княгин // М.: Сколково, 2019.

2. ГОСТ Р 27.303-2021 «Надежность в технике. Анализ видов и последствий отказов». М.: Российский институт стандартизации, 2021. 65 с.

3. Лакин, И.К., Аболмасов, А.А. Автоматизированное управление жизненным циклом локомотивов на этапе их эксплуатации [Текст] / И. К. Лакин, А. А. Аболмасов и др. // Перспективы развития сервисного обслуживания локомотивов: Материалы междунар. науч.-практ. конф. / Российский университет транспорта (МИИТ). – М., 2018. – С. 214 – 23. Шваб К. Четвертая промышленная революция // К. Шваб. «Эксмо», 2016 137 с.
4. Лакин И.К. Использование технологии «цифровой двойник» при управлении ремонтом локомотивов / И.К. Лакин, А.П. Семенов // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 2019. Т.63, № 3. С. 89-98.
5. Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ №2023680679. Система сбора и обработки отчетной документации работников железнодорожного транспортного комплекса. ФПКРБ Отчет. / А.С. Шинкарук, К.Г. Филипенко, А.В. Барышников; опубл. 04.10.2023, Бюл. № 10, 1 с.
6. Распоряжение АО «ФПК» от 04.09.2023 г. № 947/р «Об утверждении Положения о порядке учета, расследования и анализа случаев отказов в работе оборудования, узлов и деталей пассажирских вагонов, приведших к

нарушению комфортных условий проезда пассажиров в вагонах АО «ФПК». М.: АО «ФПК», 2023. 34 с.

7. Курганова Н.В. Внедрение цифровых двойников как одно из ключевых направлений цифровизации производства / Н.В. Курганова, М.А. Филин, Д.С. Черняев и др. // International Journal of Open International Technologies, 2019, № 5. С. 105-109.
8. Распоряжение АО «ФПК» от 05.07.2022 г. № 573р «Об утверждении Порядка разработки и реализации корректирующих и предупреждающих мероприятий в АО «ФПК». М.: АО «ФПК», 2022. 22 с.
9. Шинкарук А.С. Модель перехода к оптимальной структуре ремонта как этап интеграции в систему «цифрового ремонта» пассажирского вагона на эксплуатационном этапе жизненного цикла / А.С. Шинкарук // Международный научно-исследовательский журнал. 2024. №5 (143). URL: <https://research-journal.org/archive/5-143-2024-may/10.60797/IRJ.2024.143.142> (дата обращения: 17.05.2024). – DOI: 10.60797/IRJ.2024.143.142.
10. «Индустрия 4.0»: создание цифрового предприятия. Прайсвотерхаус Куперс Консультирование. 2016. www.pwc.com/industry40.

REFERENCES

1. Knyagin VN. Digital transformation: business models and market players. Moscow: Skolkovo; 2019.
2. GOST P 27.303-2021 Failure modes and effects analysis. Moscow: Russian Institute of Standardization; 2021.
3. Lakin IK, Abolmasov AA. Automated management of the life cycle of locomotives at the stage of their operation. Proceedings of International Scientific and Practical Conference, 2016: Prospects for the Development of Service Maintenance of Locomotives; Russian University of Transport (MIIT). Moscow, 2018.
4. Lakin IK, Semenov AP. Use of the "digital twin" technology in controlling the repair of locomotives. Modern Technologies. System Analysis. Modeling. 2019;63(3):89-98.
5. Shinkaruk AS, Filipenko KG, Baryshnikov AV. Certificate of registration of the computer program No. 2023680679. The system of collecting and processing reports of employees of the railway transport complex. FPKRB Report. 2023 Oct 04.
6. Order of JSC "FPC" No. 947/r On approval of the regulation on accounting, examination and analysis of failures in the operation of equip-

ment, assemblies and parts of passenger cars that led to a violation of the comfortable conditions of passenger travel in the cars of JSC "FPC". Moscow: JSC "FPC"; 2023.

7. Kurganova NV, Filin MA, Chernyaev DS. Introduction of digital technologies as one of the key directions of digitalization of production. International Journal of Open International-al Technologies. 2019;5:105-109.
8. Order of JSC "FPC" No. 573r On approval of the development and implementation of corrective and preventive measures in JSC "FPC". Moscow: JSC "FPC"; 2022.
9. Shinkaruk AS. The model of transition to the optimal repair structure as a stage of integration into the system of "digital repair" of a passenger car at the operational stage of the life cycle. International Scientific Research Journal [Internet]. 2024;5(143) [cited 2024 May 17]. Available from: <https://research-journal.org/archive/5-143-2024-may/10.60797/IRJ.2024.143.142>. DOI: 10.60797/IRJ.2024.143.142.
10. Industry 4.0: developing a digital enterprise [Internet]. Pricewaterhouse Coopers Consulting. 2016. Available from: www.pwc.com/industry40.

Информация об авторах:

Шинкарук Андрей Сергеевич – кандидат технических наук, Российский Университет транспорта (РУТ (МИИТ)). Новосушевская ул. 22,

ст. 1, Москва, 127055, Российская Федерация; тел.: +7 925 804 44 95.

Куликов Михаил Юрьевич – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Технология транспортного машиностроения и ремонта подвижного состава» Российский университет транспорта (РУТ (МИИТ)), ул. Образцова, д. 9, стр. 9, Россия, г. Москва, тел.: +7 (964) 578 56 89.

Shinkaruk Andrey Sergeevich – Candidate of Technical Sciences, Russian University of Transport (RUT (MIIT)). 22/1, Novosushchevskaya Str., Moscow, 127055, Russian Federation; phone: +7 925 804 44 95.

Kulikov Mikhail Yuryevich – Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department "Technology of Transport Engineering and Rolling Stock

Барышников Александр Владимирович – кандидат технических наук, Российский Университет транспорта (РУТ (МИИТ)). Новосущевская ул. 22, ст. 1, Москва, 127055, Российская Федерация, тел.: +7(495)274 02 74 доб.3348.

Repair at Russian University of Transport (RUT (MIIT)). 9/9, Obraztsova Str., Moscow, Russia; phone: 7 (964) 578 56 89.

Baryshnikov Aleksandr Vladimirovich – Candidate of Technical Sciences, Russian University of Transportation (RUT (MIIT)). 22/1, Novosushchevskaya Str., Moscow, 127055, Russian Federation; phone: +7 (495)274 02 74 ext.3348.

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.
Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.
The authors declare no conflicts of interests.

Статья опубликована в режиме Open Access.
Article published in Open Access mode.

Статья поступила в редакцию 21.10.2024; одобрена после рецензирования 18.11.2024; принята к публикации 27.11.2024. Рецензент – Антипин Д.Я., кандидат технических наук, доцент кафедры «Подвижной состав железных дорог», директор учебно-научного института транспорта Брянского государственного технического университета, член редсовета журнала «Транспортное машиностроение».

The article was submitted to the editorial office on 21.10.2024; approved after review on 18.11.2024; accepted for publication on 27.11.2024. The reviewer is Antipin D.Ya., Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Railway Rolling Stock, Director of the Educational and Scientific Institute of Transport at Bryansk State Technical University, member of the Editorial Council of the journal *Transport Engineering*.