 © Авторы статьи / Authors of the article

ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫЙ ПУТЬ, ИЗЫСКАНИЕ И ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ/RAILWAY TRACK, SURVEY AND DESIGN OF RAILWAYS

DOI: https://doi.org/10.60797/IRJ.2024.150.105 EDN: MPVELA

КИБЕРФИЗИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ УПРАВЛЕНИЯ ЖИЗНЕННЫМ ЦИКЛОМ ПАССАЖИРСКОГО ВАГОНА

Научная статья

Шинкарук А.С.[1, *]

[1] Федеральная пассажирская компания, Москва, Российская Федерация

* Корреспондирующий автор (shinkarukas[at]mail.ru)

Предложена: 07.10.2024; Принята: 26.11.2024; Опубликована: 17.12.2024

Аннотация

Система управления жизненным циклом пассажирского подвижного состава требует внедрения эффективных решений в получении объективной информации о состоянии и использовании вагона на всех этапах его жизненного цикла. В настоящее время различные фазы, такие как, проектирование, изготовление, использование, проведение ремонта и технического обслуживания фиксируются в различных информационных системах, которые не связаны между собой. Целью написания данной статьи является формирование киберфизической модели управления жизненным циклом пассажирского вагона, обеспечивающее управление его жизненным циклом через единую, интегрированную базу данных. Такой подход позволяет осуществлять анализ использования подвижного состава, устанавливать элементы подвижного состава, требующие повышения его технической надежности или совершенствования, более точно определять суммарные расходы на протяжении всего жизненного цикла, а также планировать материально-техническую и ремонтную базу. Проведенное исследование подтверждает эффективность применения разработанной киберфической модели путем решения задач обработки массива информационных данных, позволяющие оптимизировать использование пассажирского вагона на всех этапах его жизненного цикла. Данная киберфизическая модель имеет высокий потенциал для применения на железнодорожном транспорте и может значительно улучшить надежность пассажирского вагона, повышая качество предоставляемых пассажиру услуг и развития экономики в целом.

Ключевые слова: пассажирский вагон, киберфизическая модель, жизненный цикл, эффективность, управление.

CYBER-PHYSICAL MODEL OF PASSENGER CAR LIFE CYCLE MANAGEMENT

Research article

Shinkaruk A.S.[1, *]

[1] Federal Passenger Company, Moscow, Russian Federation

* Corresponding author (shinkarukas[at]mail.ru)

Suggested: 07.10.2024; Accepted: 26.11.2024; Published: 17.12.2024

Abstract

The passenger rolling stock life cycle management system requires the implementation of effective solutions in obtaining objective information on the condition and use of the car at all stages of its life cycle. Currently, different phases such as design, manufacture, use, repair and maintenance are recorded in different information systems that are not interconnected. The aim of this article is to form a cyber-physical model of passenger car life cycle management, which provides the management of its life cycle through a single, integrated database. This approach allows to analyse the use of rolling stock, to establish the elements of rolling stock that require increasing its technical reliability or improvement, to determine more accurately the total costs throughout the life cycle, as well as to plan the logistics and repair base. The conducted research confirms the efficiency of application of the developed cyberphysical model by solving the tasks of processing the array of information data, allowing to optimize the use of a passenger car at all stages of its life cycle. This cyberphysical model has a high potential for application in railway transport and can significantly improve the reliability of the passenger car, increasing the quality of services provided to passengers and the development of the economy as a whole.

Keywords: passenger car, cyber-physical model, life cycle, efficiency, management.

Введение

Отечественное железнодорожное сообщение является одним из основных логистических элементов страны, протяженность пассажирских маршрутов достигает 9288 км, а средняя маршрутная скорость 55 км/ч. Пассажирский транспорт оказывает услуги по перевозке населения не только между крупными городами и агломерациями, обеспечивается также перевозка пассажиров и доставка грузобагажа в труднодоступные и малонаселенные регионы. Согласно «Долгосрочной программе развития ОАО «РЖД» до 2025 года» [1] ключевыми инициативами развития дальнего пассажирского сообщения являются повышение качества обслуживания, цифровизация бизнес-процессов, формирования оптимальной маршрутной сети и расписания поездов. Ставятся задачи повышения надежности вагонов, решение которых, в основном заключается в совершенствовании элементной базы вагона, а также системы ремонта и технического обслуживания.

 © Авторы статьи / Authors of the article

Методы и принципы исследования

Для реализации задач по повышению надежности и эффективности использования пассажирского подвижного состава требуется научная и практическая проработка новых подходов к системе технического обслуживания и ремонта (ТОИР) в целом. Так, в настоящее время наиболее эффективным решением данного вопроса является разработка киберфизической модели управления жизненным циклом пассажирского вагона с интеграцией методов бортовой диагностики (СКДУ), получения информации с инфраструктурных диагностических комплексов (АПК СКАТ), результатов деповских диагностических и испытательных комплексов и иных информационно-аналитических систем накапливающие отдельные фрагменты этапов жизненного цикла [2], [3], [4]. Одним из наиболее исследованных методов анализа надежности и повышения эффективности использования железнодорожного подвижного состава является применение стационарных и встроенных систем технического диагностирования для возможного установления индивидуальных характеристик периодичного ремонта и обслуживания отдельных узлов и деталей. Рассматриваются и реализуются проекты по автоматизации технологических процессов ТОИР [5], [6], [8], [9], совершенствования системы ремонта пассажирских вагонов в целом [5], [7], [10], [13]. Наиболее эффективным бы явилась комплексная реализация этого процесса с созданием единой автоматизированной системы, позволяющая управлять жизненным циклом пассажирского вагона на всех его этапах по аналогии с зарубежными моделями, которые применяют ведущие производители железнодорожной техники [13], [14].

Развитие программных продуктов по принципам интероперабельности позволяют интегрировать из различных информационных платформ информацию в единую киберфизическую систему для управления жизненным циклом пассажирского вагона. Формирование данной системы полностью соответствует принципам четвертой промышленной революции [6], [8], которые успешно реализуются в мировой практике во многих промышленных областях.

Внешняя интеграция предполагает объединение данных из информационных систем:

- по проектированию пассажирских вагонов (АСУ Проектирование, АСУ Оборудование, АСУ НПВ (нового пассажирского вагона));
- использования (АСУ ПВ, АСУОП, СКДУ, АСУ ПЭМ, АСУ ОСО, АПК СКАТ и т.д.);
- ремонта в пассажирских вагонных депо, на заводах, а также сервисных и подрядных организациях (АСУ Ремонт, АСУ ПР, АСУ ВРЗ, АСУ Толщинометрия);
- внешнего контроля (АСУ Ревизор, АСУ Приемщик, АСУ Пассажир, КАСАНТ, АСУ ПЭМ).

Основные результаты

Формирование комплексного управления жизненным циклом пассажирского вагона осуществляется путем сбора из всех источников информации или согласованных критериев, закладываемых в соответствующий блок данных (рис. 1, 2).

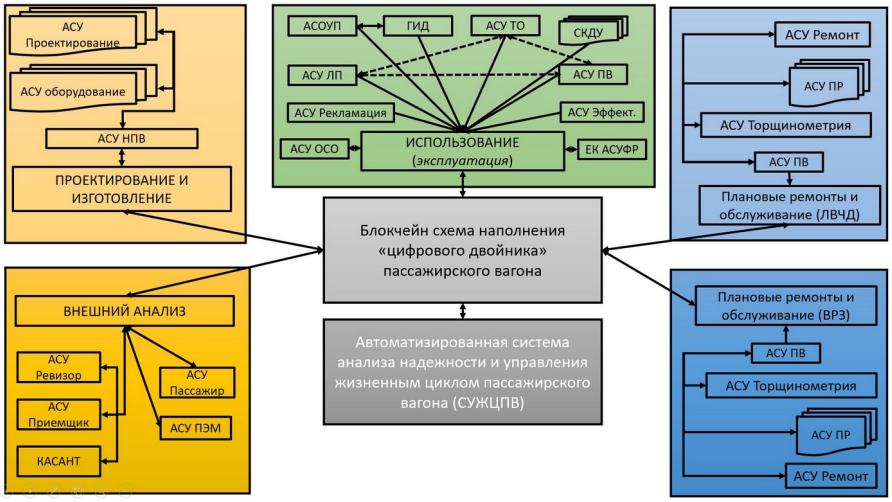

Рисунок 1 - Возможная киберфизическаая модель управления жизненным циклом пассажирского вагона
DOI: https://doi.org/10.60797/IRJ.2024.150.105.1

На этапе проектирования в систему вносятся характеристики оборудования, их назначенный срок, критерии надежности, протоколы испытаний и сертификаты, конструкторская документация и иные данные, позволяющие максимально сформировать образ «цифрового двойника» пассажирского вагона. Так формируется структура наполнения элементной базой вагона (модели, серии), прочностными и характеристиками надежности, которая является фундаментом системы управления жизненным циклом пассажирского вагона (СУЖЦПВ). В процессе реализации этого этапа устанавливается система ТОИР для каждого основного узла, а также, в совокупности, для вагона в целом, которая также хранится в СУЖЦПВ.

В случае изменения элементной базы, собственником подвижного состава совместно с изготовителем вносится корректировка в СУЖЦПВ. Модель вагона в СУЖЦПВ рассматривается как несколько модификаций со своей элементной базой, а также по индивидуальным и общим требованиям к периодичности ТОИР. При проектировании предусматривается установка бортовая диагностическая система (СКДУ) [15], обеспечивающая контроль

 © Авторы статьи / Authors of the article

технического состояния основных элементов вагона, установления предотказных состояний, а также прогнозирования остаточных ресурсов. Оборудование, которое диагностируется напольными устройствами (дефекты и состояние поверхности колесных пар, вагоны с отрицательной динамикой, контроль габарита подвижного состава и т.д.) осуществляет передачу данных в систему СУЖЦПВ по средствам блокчейн-технологий. При невозможности, или слишком затратной стоимости бортового диагностического оборудования, разрабатываются и используются диагностические комплексы, применяемые при ремонте и техническом обслуживании вагона.

В процессе выполнения графика поставки подвижного состава изготовитель создает новый «цифровой вагон» с указанием заводского номера, модели, осуществляет наполнение его оборудованием, конструкторской, ремонтной и эксплуатационной документацией, на каждый узел устанавливается срок службы, критерии надежности, дата изготовления и изготовитель, цифровая платформа наполняется протоколами испытаний, сертификатами и т.д. для обеспечения управления реальным вагоном на протяжении всего его жизненного цикла.

В процессе использования собственник подвижного состава на основании принятого решения заключает договор на периодическое обслуживание элементной или крупноузловой базы или вагона целиком (в том числе на принципах контракта жизненного цикла). В договорах определяется объем и порядок передачи необходимой информации для формирования «цифрового двойника» вагона, в том числе, критерии надежности, показатель готовности, периодичность ремонта и технического обслуживания, порядок оплаты (включая дополнительные работы), привлечение субподрядных и иных организаций и т.д., а в систему СУЖЦПВ закладываются соответствующие разделы для анализа и мониторинга технико-экономических показателей.

После постройки и допуска на инфраструктуру собственник в соответствии с законодательством РФ ставит вагон на бухгалтерский учет и проводит процедуры по получению сетевого номера, который вносится в СУЖЦПВ и становится основным (заводской номер переходит в информационный раздел). В процессе жизненного цикла сетевой номер может измениться при изменении собственника, назначения, статуса и т.д.

При использовании вагона (назначение в поезд, курсирование, ожидание, передислокация в ремонт, окраску, для проведения улучшений, отвлечение в нерабочий парк) в системе АСУ ПВ, а также в системах АСОУП, ГИД «Урал» и иных устанавливается соответствующий статус использования, который также передается в СУЖЦПВ для анализа эффективности, а также определения системных или единичных отклонений от штатной работы оборудования в процессе использования.

На системной основе в СУЖЦПВ поступает информация с вагонного диагностического комплекса (СКДУ), который осуществляет пакетную обработку данных через мобильную сеть и направляет данные на стационарный сервер с последующей расшифровкой и передачей необходимых данных в СУЖЦПВ. Данные полученные с напольных инфраструктурных систем безопасности (АПК СКАТ) анализируются и передаются в АСУ ПВ вагона для автоматического обновления контролируемых параметров вагона (геометрические параметры и дефекты на поверхности катания колесных пар, температура буксовых узлов, замедленного отпуска автотормозов и т.д.) с передачей их в СУЖЦПВ. Информация о качестве предоставляемых услуг пассажиру (АСУ Пассажир), технические неисправности вагона (АСУ ПЭМ, АСУ ОСО), замечания, выявленные при проведении контрольно-ревизионной деятельности (АСУ Ревизор), а также при проведении приемочных процедур (АСУ Приемщик) также вносятся в соответствующие системы и передаются в СУЖЦПВ (см. рис. 2).

 © Авторы статьи / Authors of the article

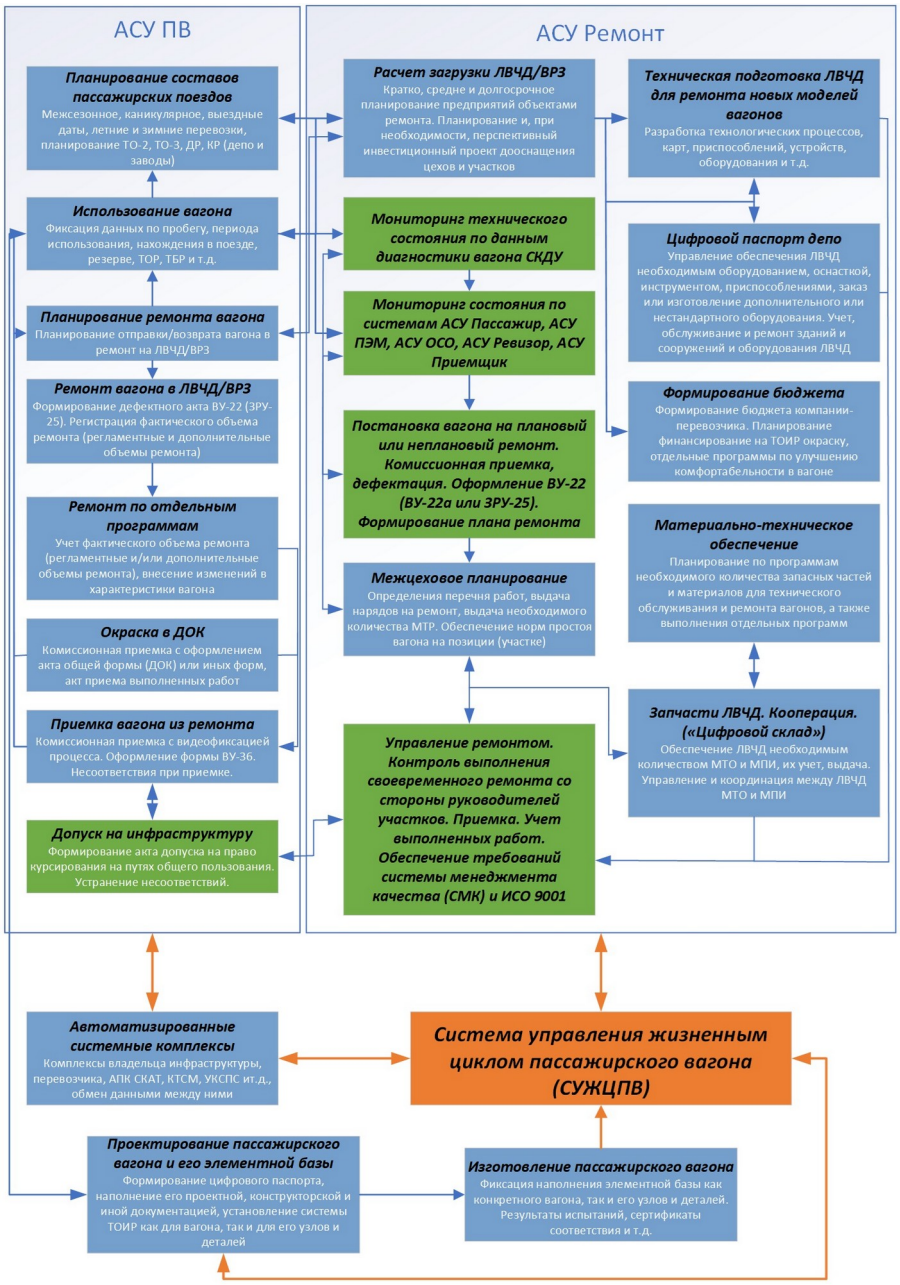

Рисунок 2 - Киберфизическая модель управления жизненным циклом пассажирского вагона
DOI: https://doi.org/10.60797/IRJ.2024.150.105.2

Проанализированная информация о использовании, пробегах, показателях надежности, системности выхода оборудования в межремонтный период позволяет рассчитать оперативную или долгосрочную (на 3-5 лет) программу ремонта, осуществить планирование загрузки пассажирских вагонных депо (ЛВЧД) и вагоноремонтных заводов (ВРЗ), а также определить потребность в проведении оздоровительного ремонта определенных вагонов (моделей) или их узлов по фактическому состоянию (системного выхода из строя определенных узлов, деталей, интерьерных решений (на основе предложений пассажиров)), периодичность замены элементной базы достигшей назначенного срока службы.

От точного объема получаемой и обрабатываемой информации зависит эффективность заявочной компании на приобретение запасных частей и материалов, узлов и деталей, выходящие по фактическому состоянию и сроку службы, расчета потребного ремонтного и эксплуатационного контингента.

Наряду с расчетом загрузки, решаются логистические задачи, а именно, планирование использования вагона с обеспечением минимального порожнего пробега до соответствующего ремонтного структурного подразделения, планирование постановки и выпуска из ремонта, предварительное формирование потребного количества запасных частей и материалов на основании анализа использования вагона, показаний бортовых и инфраструктурных диагностических комплексов, внешнего контроля, периодичности замены узлов и деталей по состоянию или достигшие назначенный срок службы (согласно КД на них), обеспечения запасными частями и материалами крупных складских терминалов, ремонтных и участковых складов, планирование ремонта узлов и деталей повторного использования (МПИ).

 © Авторы статьи / Authors of the article

При планировании планово-предупредительного ремонта оператор пункта формирования оформляет оперативный приказ экипировочным цехам для подготовки передачи вагона в ремонт, на основании которого осуществляется съем мягкого и жесткого имущества (белье, чайная и кондитерская продукция). Для передислокации вагона в ремонт назначаются проводники сопровождения, сам вагон в системе переводится в статус «Ожидание ремонта». Информация в автоматическом режиме передается в СУЖЦПВ.

При постановке вагона в ремонт проводится его комиссионная приемка с оформлением акта ВУ-22 или ЗРУ-25 (при ремонте на ВРЗ), вагон в системе переводится в статус «В ремонте». Объем работы вагона определяется по результатам визуальной приемки, внешнего анализа, показаний бортовой и инфраструктурных диагностических систем, диагностических стационарных и мобильных цеховых комплексов (при входном контроле), периодичности ремонта или замены узлов и деталей и по результатам неразрушающего контроля соответствующим узлам и деталям. Особое внимание обращается на определение скрытых и трудновыявляемых дефектов (по анализу использования вагона в межремонтный период).

После приемки вагона в ремонт формируется окончательный индивидуальный план ремонта, производится нормировка и оценка регламентных и дополнительных работ, в том числе по работам, осуществляемые сервисными и подрядными организациями. Если определенные работы выполняются в рамках устранения гарантийных неисправностей, то они не оплачиваются, но фиксируются.

В результате для каждого цеха и участка формируются задания по ремонту соответствующих узлов и деталей вагона, которые руководители участков доводят до исполнителей в электронном формате (на цифровое рабочее место). Исполнитель в программе делает отметку о начале выполнения регламентных работ, а после выполнения закрывает соответствующую операцию в соответствующем разделе цифрового рабочего места. По завершению операции на цифровом рабочем месте у руководителя участка, а для наиболее ответственных узлов и деталей и на цифровом рабочем месте приемщика вагонов активизируется сообщение о завершении ремонтных работ со стороны исполнителя, данные работники осуществляют приемку работ с последующей отметкой в цифровом рабочем месте. При завершении данной процедуры ремонтные или регламентные работы считаются выполненными.

Получение материалов со склада возможно только в соответствии с используемой номенклатурой запасных частей на модель ремонтируемого вагона, внесенной в систему СУЖЦПВ. Так, получить необходимое количество тормозных колодок, втулок, элементов рычажной передачи и т.д. для вагонов с системой дискового торможения программа не позволит из-за отсутствия данной номенклатуры в перечне. Не удастся получить большее или меньшее нормируемого – колодки, накладки, тормозные приборы, арматура и т.д.

В процессе ремонта все регламентные замеры фиксируются в электронных формах, усилия затяжки автоматически передаются с данных электронных ключей, протоколы диагностических испытаний автоматически перенаправляются в СУЖПВ. Данные о проводивших ремонт и приемку из локальных автоматизированных систем или цифровых рабочих мест передаются в систему по безбумажной технологии. Подтверждение результатов осуществляется с применением «электронно-цифровых подписей» или на бумажном носителе с последующем внесением в электронную базу, если это является требованием законодательства РФ. Таким образом, процесс формирования и использования «цифрового двойника» пассажирского вагона можно осуществить практически по безбумажной технологии.

Обслуживание и ремонт запасных частей и материалов, имеющие индивидуальную нумерацию, осуществляется в электронных журналах и бухгалтерском учете. После ремонта отремонтированные запасные части и детали в обязательном порядке отражаются как материалы повторного использования (МПИ), устанавливаются обратно на вагон, или поступают в оборотный фонд участка (в случае необходимости длительного ремонта или ранее проведенной замены из оборотного запаса) с отражением в «цифровом складе». В случае отправки оборудования в ремонт на другое предприятие или в специализированную организацию возврат осуществляется с фиксацией затрат на ремонт.

Таким образом, все оборудование, запасные части и материалы, применяемые при ремонте в обязательном порядке, фиксируются через «цифровой склад», в котором, среди прочего, делаются отметки о производителе, ремонтировавшей организации, стоимости, фактического времени отвлечения на ремонт, времени получения и установки на вагон или передачи в оборотный фонд отремонтированного оборудования.

График попозиционного ремонта вагона (модели, серии) формируется и уточняется с учетом накапливаемой в СУЖЦПВ и обрабатываемой вероятностно-статистическим методом информации.

После проведения ремонта вагон комиссионно принимается с видеофиксацией всех регламентных и дополнительных работ. Результаты приемки хранятся на сетевом ресурсе ремонтного предприятия до следующего планового ремонта, а ссылка прикрепляется в СУЖЦПВ для просмотра при необходимости. Ремонт вагона завершается оформлением уведомления о выпуске вагона из ремонта формы ВУ-36. В СУЖЦПВ вагон переводится в статус «Ожидание использования». После приемки и допуска вагона на инфраструктуру осуществляется окончательное формирование «цифрового ремонта» вагона. В СУЖЦПВ заносятся данные о результатах регламентных и дополнительных работ, затраты, фактическое время на ремонт всех узлов и деталей, количество использованных запасных частей и материалов, работников, производившие ремонт и приемку, результаты контрольных измерений и испытаний, выявленные замечания или несоответствия при приемки или допуске а также иной информации, связанной с ремонтом вагона.

После передислокации вагона на станцию назначения, его оборудования инвентарем, вагону меняется статус на «Нахождение в резерве» или «Использование», который говорит об окончательном завершении процедуры ремонта вагона. Период времени от «Ожидания использования» до «Использования» анализируется для оценки эффективности и анализа непроизводственных потерь.

По аналогичному алгоритму осуществляет ремонт вагонов на вагоноремонтных заводах. При этом, автоматизация процессов накопления цифровых процессов ремонта на ВРЗ может отличаться от ранее описанной. Для этого

 © Авторы статьи / Authors of the article

собственник подвижного состава согласует перечень и полноту передаваемой информации по проведенному ремонту вагона и наполнения «цифрового двойника».

При проведении вагону капитального ремонта в объеме КР-2 и последующих плановых ремонтах дополнительно проводится мониторинг состояния силового каркаса вагона с использованием цифровой платформы (АСУ – Толщинометрия) для недопущения возникновения сверхнормативного утонения металла в основных конструкциях, а также обеспечения регламентных прочностных характеристик до достижения предельного технического состояния.

Проведение окраски вагона в дробеструйно-окрасочных комплексах, а также реализация отдельных программ по техническому дооснащению осуществляется на договорной основе или собственными силами с фиксацией промежуточных и итоговых операций, внесением извещений или конструктивных изменений установленным порядке в СУЖЦПВ. При выполнении окраски или реализации отдельных программ в системе фиксируются затраты, период отвлечения на подготовительные, ремонтные (окрасочные) работы, возврат на станцию назначения для последующей оценки эффективности.

В случае выявлении при ремонте или в процессе эксплуатации вагона гарантийных нарушений или нарушения сроков поставки оборудования (вагона) из ремонта; оператором предприятиях управления вагона или ремонтного депо формируется уведомление причастным о возникновении гарантийного ремонта, который рассматривается регламентированным порядком и сроком по результатам которого оформляются рекламационные документы.

Внедрение предлагаемой системы планово-предупредительного ремонта, с одной стороны, может увеличить затраты на плановый ремонт, при этом сократит количество отказов и внеплановых ремонтов впоследствии, что повысит эффективность использования вагона в целом.

Заключение

Киберфизическая модель управления жизненным циклом пассажирского вагона позволяет повысить качество и надежность его использования на всех этапах, что способствует к повышению его эффективности за счет:

- проведения анализа и оценки эксплуатации в различных состояниях (использование, ожидание, отвлечение на ремонт (в том числе внеплановый));
- интеграции разрозненных автоматизированных систем в единую;
- проведения системного анализа влияния состояния элементной базы вагона на эффективность его использования и качество предоставляемых услуг;

Применение технологических решений создания киберфизической модели пассажирского вагона, прежде всего, направлена на повышение надежности и эффективности использования путем:

1. Повышения фактического использования подвижного состава и снижения нахождения в нерабочем парке путем повышения надежности элементной базы вагона.
2. Улучшения планирования проведения планового и внепланового ремонта путем проведения системного анализа работы бортовых и инфраструктурных систем диагностики.
3. Поэтапного перехода на ремонт узлов и деталей по фактическому техническому состоянию.
4. Интеграции разрозненных информационных баз в единую кибер-аналитическую модель.

Так, реализацию предлагаемой модели целесообразно осуществить поэтапно, начиная с отдельных элементов вагона, например, интеграции инфраструктурных диагностических комплексов, цехового ремонта (колесно-роликовый, редуктрно-карданный, генераторный, высоковольтный, участок неразрушающего контроля и т.д.).

Конфликт интересов

Не указан.

Рецензия

Все статьи проходят рецензирование. Но рецензент или автор статьи предпочли не публиковать рецензию к этой статье в открытом доступе. Рецензия может быть предоставлена компетентным органам по запросу.

Conflict of Interest

None declared.

Review

All articles are peer-reviewed. But the reviewer or the author of the article chose not to publish a review of this article in the public domain. The review can be provided to the competent authorities upon request.

Список литературы / References

1. Российская Федерация. Долгосрочная программа развития ОАО «РЖД» до 2025 года : Постановление Правительства России [2019-03-19 :2024-10-07]. — [466-р.-е изд].— М., 2019.

2. Борзин Р.Ю. Разработка концептуальной модели системы сбора и анализа данных для киберфизической системы / Р.Ю. Борзин, Е.Д. Рогожников, А.Г. Кравец // Математические методы в технологиях и технике. — Москва: Наука, 2023. — Вып. 9. — С. 106–109. — DOI: 10.52348/2712-8873_MMTT_2023_9_106.

3. Балашова Е.С. Анализ направлений внедрения цифровых технологий в промышленный комплекс / Е.С. Балашова, К.С. Майорова // Научно-технические ведомости СПбГПУ. Экономические науки. — 2020. — № 2. — С. 18–29. — DOI: 10.18721/JE.13202.

4. Смышляева А.А. Современные технологии в Индустрии 4.0 – киберфизические системы / А.А. Смышляева, К.М. Резникова, Д.В. Савченко // Отходы и ресурсы. — 2020. — № 3. — С. 2–12.

5. Лакин И.К. Разработка теории и программно-технических средств комплексной автоматизированной справочно-информационной и управляющей системы локомотивного депо : дис. ... д-ра : 05.22.07 : защищена 1997-09-12 : утв. 1998-05-14 / И.К. Лакин — Москва: 1998. — 377 с.

6. Семенов А.П. Организация управления жизненным циклом отечественных локомотивов / А.П. Семенов // Вестник УрГУПС. — Екатеринбург: УрГУПС, 2021. — Вып. 1. — С. 62–71.

 © Авторы статьи / Authors of the article

7. Семенов А.П. Перспективы развития цифровых технологий в сервисных локомотивных депо / А.П. Семенов, В.В. Семченко, И.К. Лакин // Локомотив. — Москва, 2020. — Вып. 11. — С. 2–3.

8. Семенов А.П. Модель управления жизненным циклом локомотивов с использованием современных методов технического диагностирования : дис. ... д-ра : 05.22.07 : защищена 2022-01-20 : утв. 2022-05-15 / А.П. Семенов — Москва: 2022. — 379 с.

9. Митрюхина Е.В. Разработка геометрической модели цифрового двойника транспортных объектов / Е.В. Митрюхина, А.А. Рогов. — Москва: Дашков и К, 2023. — С. 497-500.

10. Салпагаров С.И. Развитие информационно-логистической системы региона на основе разработки цифровых двойников транспортных объектов / С.И. Салпагаров, А.А. Рогов // Пространство современного региона: вызовы, трансформации, барьеры. — Новокузнецк: Актуальность.РФ, 2023. — Вып. 1. — С. 93–101.

11. Шамраева Т.А. Оценка технологической эффективности внедрения интеллектуальных информационных систем на железнодорожном транспорте / Т.А. Шамраева, А.А. Сидраков. — Москва: Дашков и К, 2024. — С. 102–104.

12. Липа К.В. Мониторинг технического состояния и режимов эксплуатации локомотивов. Теория и практика / К.В. Липа, А.А. Белинский, В.Н. Пустовой // ЛокоТех. — Москва: ЛокоТех, 2015. — Вып. 1. — С. 212.

13. Siemens. — URL: https://new.siemens.com (accessed: 07.10.2024)

14. General Electric. — URL: https://www.ge.com (accessed: 15.09.2024)

15. Вагоны пассажирские локомотивной тяги. Общие требования. — Введ. 2021-03-01. — Москва: Стандартинформ, 2020. — 39 с.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Russian Federation. Dolgosrochnaja programma razvitija OAO «RZhD» do 2025 goda [Long-term development program of JSC Russian Railways until 2025] : Resolution of the Government of Russia [2019-03-19 :2024-10-07]. — [466-p. edition].— M., 2019. [in Russian]

2. Borzin R.Ju.. Razrabotka kontseptual'noj modeli sistemy sbora i analiza dannyh dlja kiberfizicheskoj sistemy [Development of a conceptual model of a data collection and analysis system for a cyber-physical system] / R.Ju. Borzin, E.D. Rogozhnikov, A.G. Kravets // Matematicheskie metody v tehnologijah i tehnike [Mathematical Methods in Technology and Engineering]. — Moskva: Nauka, 2023. — Iss 9. — P. 106–109. — DOI: 10.52348/2712-8873_MMTT_2023_9_106. [in Russian]

3. Balashova E.S. Analiz napravlenij vnedrenija tsifrovyh tehnologij v promyshlennyj kompleks [Analysis of the directions of implementation of digital technologies in the industrial complex] / E.S. Balashova, K.S. Majorova // Nauchno-tehnicheskie vedomosti SPbGPU. Jekonomicheskie nauki [Scientific and Technical Bulletins of SPbSPU. Economic Sciences]. — 2020. — № 2. — P. 18–29. — DOI: 10.18721/JE.13202. [in Russian]

4. Smyshljaeva A.A. Sovremennye tehnologii v Industrii 4.0 – kiberfizicheskie sistemy [Modern technologies in Industry 4.0 – cyber-physical systems] / A.A. Smyshljaeva, K.M. Reznikova, D.V. Savchenko // Othody i resursy [Waste and Resources]. — 2020. — № 3. — P. 2–12. [in Russian]

5. Lakin I.K. Razrabotka teorii i programmno-tehnicheskih sredstv kompleksnoj avtomatizirovannoj spravochno-informatsionnoj i upravljajuschej sistemy lokomotivnogo depo [Development of the theory and software and hardware for a comprehensive automated reference, information and control system for a locomotive depot] : dis. ... of PhD in Engineering : 05.22.07 : defense of the thesis 1997-09-12 : approved 1998-05-14 / I.K. Lakin — Moskva: 1998. — 377 p. [in Russian]

6. Semenov A.P. Organizatsija upravlenija zhiznennym tsiklom otechestvennyh lokomotivov [Organization of life cycle management of domestic locomotives] / A.P. Semenov // Vestnik UrGUPS [Bulletin of Ural State Transport University]. — Ekaterinburg: UrGUPS, 2021. — Iss. 1. — p. 62–71. [in Russian]

7. Semenov A.P. Perspektivy razvitija tsifrovyh tehnologij v servisnyh lokomotivnyh depo [Prospects for the development of digital technologies in locomotive service depots] / A.P. Semenov, V.V. Semchenko, I.K. Lakin // Lokomotiv [Locomotive]. — Moskva, 2020. — Iss. 11. — P. 2–3. [in Russian]

8. Semenov A.P. Model' upravlenija zhiznennym tsiklom lokomotivov s ispol'zovaniem sovremennyh metodov tehnicheskogo diagnostirovanija [Model of locomotive life cycle management using modern methods of technical diagnostics] : dis. ... of PhD in Engineering : 05.22.07 : defense of the thesis 2022-01-20 : approved 2022-05-15 / A.P. Semenov — Moskva: 2022. — 379 p. [in Russian]

9. Mitrjuhina E.V. Razrabotka geometricheskoj modeli tsifrovogo dvojnika transportnyh ob'ektov [Development of a geometric model of a digital twin of transport facilities] / E.V. Mitrjuhina, A.A. Rogov. — Moskva: Dashkov i K, 2023. — P. 497-500. [in Russian]

10. Salpagarov S.I. Razvitie informatsionno-logisticheskoj sistemy regiona na osnove razrabotki tsifrovyh dvojnikov transportnyh ob'ektov [Development of the regional information and logistics system based on the development of digital twins of transport facilities] / S.I. Salpagarov, A.A. Rogov // Prostranstvo sovremennogo regiona: vyzovy, transformacii, bar'ery [The space of a modern region: challenges, transformations, barriers]. — Novokuznetsk: Aktual'nost'.RF, 2023. — Iss. 1. — P. 93–101. [in Russian]

11. Shamraeva T.A. Otsenka tehnologicheskoj effektivnosti vnedrenija intellektual'nyh informatsionnyh sistem na zheleznodorozhnom transporte [Evaluation of the technological efficiency of the implementation of intelligent information systems in railway transport] / T.A. Shamraeva, A.A. Sidrakov. — Moscow: Dashkov i K, 2024. — Iss. 1. — P. 102–104. [in Russian]

12. Lipa K.V. Monitoring tehnicheskogo sostojanija i rezhimov ekspluatatsii lokomotivov. Teorija i praktika [Monitoring the technical condition and operating modes of locomotives. Theory and practice] / K.V. Lipa, A.A. Belinskij, V.N. Pustovoj // LocoTech. — Iss. 1. — Moscow: LokoTeh, 2015. — P. 212. [in Russian]

 © Авторы статьи / Authors of the article

13. Siemens. — URL: https://new.siemens.com (accessed: 07.10.2024)
14. General Electric. — URL: https://www.ge.com (accessed: 15.09.2024)
15. Vagony passazhirskie lokomotivnoj tjagi. Obschie trebovanija. [Locomotive-hauled passenger carriages. General requirements] — Introduced 2021-03-01. — Moskva: Standartinform, 2020. — 39 p. [in Russian]