

НАЗЕМНЫЕ ТРАНСПОРТНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА И КОМПЛЕКСЫ / GROUND TRANSPORT AND TECHNOLOGICAL MEANS AND COMPLEXES

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2024.143.142>

МОДЕЛЬ ПЕРЕХОДА К ОПТИМАЛЬНОЙ СТРУКТУРЕ РЕМОНТА КАК ЭТАП ИНТЕГРАЦИИ В СИСТЕМУ «ЦИФРОВОГО РЕМОНТА» ПАССАЖИРСКОГО ВАГОНА НА ЭКСПЛУАТАЦИОННОМ ЭТАПЕ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА

Научная статья

Шинкарук А.С.^{1,*}

¹ Федеральная пассажирская компания, Москва, Российская Федерация

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

Аннотация

Формирование «цифрового двойника» объекта или процесса является важным этапом перехода его в цифровую трансформацию, в том числе как объекта промышленного предприятия. В данной статье рассмотрен вопрос применения технологии «цифровой двойник» в процессе ремонта пассажирского вагона по его техническому состоянию или достижению запланированного ресурса. Вопрос применения «цифровых двойников» физических объектов, процессов и операционных решений в последнее время становится все более актуальным. Целью исследования является рассмотрение применения процесса цифровизации при ремонте пассажирского подвижного состава как самого объекта (вагона), так и выполнения ему регламентных технологических операций. По результатам переноса фактических технологических операций в цифровую структуру устанавливаются процессы, попадающие под оптимизацию и увеличивающие итоговый экономический и производственный эффект. По результатам проведенного исследования разработан типовой алгоритм организации проведения ремонта пассажирского вагона с использованием цифровых решений, что, в сравнении с классическим подходом, позволяют повысить эффективность, безотказность и надежности пассажирского вагона при его дальнейшем использовании, увеличить количество отремонтированных вагонов, а также значительно снизить влияние человеческого фактора при ремонте и техническом обслуживании, в первую очередь, новых моделей пассажирского сегмента.

Ключевые слова: железнодорожный транспорт, цифровизация, «цифровой двойник», пассажирский вагон, надежность, безотказность, концепция.

A MODEL OF TRANSITION TO AN OPTIMAL REPAIR STRUCTURE AS A STAGE OF INTEGRATION INTO THE SYSTEM OF "DIGITAL REPAIR" OF A PASSENGER CAR AT THE OPERATIONAL STAGE OF ITS LIFE CYCLE

Research article

Shinkaruk A.S.^{1,*}

¹ Federal Passenger Company, Moscow, Russian Federation

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

Abstract

Formation of a "digital twin" of an object or process is an important stage of its transition to digital transformation, including as an object of an industrial enterprise. This article examines the application of "digital twin" technology in the process of repairing a passenger car according to its technical condition or achievement of the planned resource. The issue of application of "digital twins" of physical objects, processes and operational solutions has recently become more and more relevant. The aim of the research is to review the application of the digitalization process in the repair of passenger rolling stock, both the object itself (the car) and the performance of its routine technological operations. According to the results of transferring the actual technological operations into the digital structure, the processes that fall under the optimization and increase the final economic and production effect are established. According to the results of the conducted research, a typical algorithm for the organization of passenger car repair using digital solutions has been developed, which, in comparison with the classical approach, makes it possible to increase the efficiency, reliability and dependability of a passenger car in its further use, to increase the number of repaired cars, as well as to significantly reduce the influence of the human factor in the repair and maintenance of, firstly, new models of the passenger segment.

Keywords: railway transport, digitalization, "digital twin", passenger car, reliability, fail-safety, concept.

Введение

Четвертая промышленная революция, получившая свое название от инициативы 2011 года, возглавляемая бизнесменами, политиками и представителями науки Германии, определила усиленную интеграцию «киберфизических систем» в промышленности, которая позволила повысить конкурентоспособность в производственных отраслях. Интеграция различных систем, несомненно, нашла свое отражение на рынке труда и в повседневной жизни каждого гражданина [1]. Следует отметить, что развитие «киберфизических систем» затрагивает различные сектора экономики, предусматривает в себе прорыв в области цифровизации данных, обеспечения формирования «цифровых двойников» промышленных объектов и технологических процессов, что позволяет их интегрировать в единую экосистему.

Решения по реализации цифровых стратегических инициатив также рассматривались и рассматриваются на предприятиях промышленности Российской Федерации [1], [2], [3].

В 2022 году в соответствии с данными информационно-правового портала «Гарант.ру» [4] уровень достижения цифровой зрелости в Российской Федерации составил 65,8%, доля массовых социально значимых услуг в цифровом формате (в электронном виде) возрос до 99,97%, объем вложений в отечественные IT-решения до 521,9 млрд. руб. Данные факты свидетельствуют, что нашей цифровой экономике удалось адаптироваться к новым вызовам и эффективно реализовывать совместную работу частного предпринимательства и государства.

Вопрос увеличения доли цифровизации в отраслях промышленности связан с различными факторами, от увеличения покрытия территории страны широкополосным интернетом, позволяющим осуществлять доступ к сетям связи и осуществлять мониторинг технического состояния объектов в режиме реального времени, формирование цифровой аналитики, позволяющая использовать ключевые аспекты в обработке поступающих данных для наработки статистической базы и создания предиктивного прогноза до момента проведения ему технического обслуживания или ремонта [5] в эксплуатационный период жизненного цикла.

Основные результаты

Целью исследования является рассмотрение вопроса цифровизации процесса ремонта пассажирского подвижного состава как самого объекта (вагона), так и выполнения регламентных технологических операций. С математической точки зрения оптимально спланированная ремонтная компания является функцией нахождения условий, при которых исполнитель получает максимальное значение выручки с минимальным уровнем затрат на поддержание оборудования в технологических операциях в технически исправном состоянии. Согласно исследованиям компании PWC, существует потенциальная возможность прироста годовой выручки на 2,9% с сокращением затрат в среднем на 3,6% в год за счет использования интеллектуальных алгоритмов оптимизации технических процессов на производственном предприятии [6].

Применение современных аналитических систем может быть полезно как при проведении планово-предупредительного ремонта, так и при техническом (сервисном) обслуживании как самого пассажирского вагона (далее – ПВ), так и его элементной базы, в том числе, по мониторингу его фактического состояния. В случае использования классических подходов к планированию проведения технического обслуживания и ремонта ПВ, также невозможно избежать потребности в анализе и обработке больших массивных данных, связанных с различными характеристиками использования в межремонтный период [7], что напрямую влияет на качество и безотказность в процессе дальнейшей его эксплуатации. Количество условий, которые необходимо внести в исходную модель, очень большое, в первую очередь это общие регламентные работы, рекомендации и требования, установленные производителем ПВ, а также производителями его элементной базы. Проведение периодического планово-предупредительного ремонта; выполнение требований нормативных регламентов и законодательной базы в части соблюдения назначенного срока службы (ресурса) ПВ; полученная информация о допущенных неисправностях и инцидентах в процессе эксплуатации; отказам в работе различного оборудования (в том числе и случайные) в совокупности с условиями использования (климатические условия, динамические воздействия, интенсивность и т.д.) требуют индивидуального подхода к объему ремонта каждой подвижной единице. Таким образом, при формировании исходной модели необходимо учитывать как вышеуказанные факторы, так и дополнительно учитывать спецификацию и конструкционные особенности определенных моделей и типов ПВ (для предоставления услуг маломобильным гражданам, малые серии вагонов (вагоны люкс), использование специализированного дополнительного оборудования и т.д.).

При постановке задач необходимо сопоставить объемные показатели технического обслуживания и планово-предупредительного ремонта вагона на рассматриваемый период таким образом, чтобы исключить фактор проведения некачественного ремонта (обслуживания), а также сверхнормативного простоя ПВ в ремонте из-за отсутствия персонала, запасных частей, материалов, а также заблаговременно подготовить ремонтную базу для проведения регламентного объема работ [8]. Необходимо обеспечить выполнение требований и рекомендаций завода-изготовителя, а также разработчиков отдельных узлов о необходимости проведения персоналу дополнительного специализированного обучения, в том числе на производственных площадках производителя (технических классах, обучающих тренажерах). Выполнение данных требований позволит повысить квалификацию работников и минимизировать факты некачественного ремонта ПВ, что в конечном итоге снизит расходы на его содержание в эксплуатации и повысит надежность [8]. При привлечении к процессу ремонта ПВ сторонних организаций аналогичные требования необходимо устанавливать и для них.

В текущих условиях, с учетом динамично развивающейся цифровизации, необходимости обработки большого количества поступающей информации, невозможно представить работу крупной компании без использования автоматизированных систем. Даже предприятия, которые напрямую не используют сложные автоматизированные системы в своей деятельности, как минимум применяют примитивную автоматизацию. Зачастую автоматизированные системы используют для обнаружения аварийного узла. Однако этого недостаточно, чтобы перспективная автоматизированная модель была построена на обработке поступающих в режиме реального времени мониторинговых данных с узлов и деталей объекта. Их оперативная обработка, в том числе с использованием облачных хранилищ и построением итоговых прогнозных моделей (по каждому диагностируемому узлу), в конечном итоге позволяет значительно повысить эффективность использования оборудования и установить цепочку предаварийных состояний, восстановительный ремонт которых наносит гораздо меньший ущерб, чем от результата их разрушения [2], [3], [8], [9].

Система технического обслуживания и ремонта подвижного состава до недавнего времени не рассматривалась с точки зрения автоматизации процесса и создания «цифрового ремонта» на предприятии. Вместе с тем, концепция проведения ремонта по мониторингу изменения фактического состояния в различных промышленных отраслях набирает стремительную популярность, которая сказывается на повышении надежности и экономической

эффективности. Достаточно много примеров таких решений можно найти в области гражданского, авиационного и автомобильного транспорта.

Для формирования основного массива данных и оптимального принятия итоговых решений в рамках проведения ремонта или технического обслуживания ПВ необходимо установить четкие исходные параметры и предиктивные критерии браковки, без которых невозможен достоверный анализ качественных условий оценки работоспособности, в первую очередь, наиболее ответственных элементов. От выбора и установки пороговых критериев зависит качество самой выбранной прогнозной модели, что напрямую связывает и получаемый эффект. В случае использования чисто статистических методов любая из возможных случайных ошибок, таких как кратковременное пропадание сигнала с датчика (неустойчивая зона приема-передачи), возникновение фоновых помех, может быть принята ею как нарушение. Также ошибки могут возникнуть по причине «человеческого фактора» (некачественная установка), а также из-за недостаточных компетенций обработки полученных диагностируемых данных. На практике существует много попыток создания огромных серверных хранилищ для анализа и обработки данных, но полезными и эффективными является лишь небольшая их часть. К эффективным системам мониторинга по праву можно отнести сервисный ситуационный центр дистанционного мониторинга и диагностирования тепловозов компании General Electric Transportation (GE) [11].

Для установления задач и подходов работы с аналитическими системами, в первую очередь, необходимо сформировать условия, распределить и классифицировать их по группам. Данный этап имеет ключевое значение для эффективной работы аналитической модели, так как на основании группы и значимости по различным элементам им присваиваются различные удельные веса, а также производится оценка влияния их на итоговый процесс.

В целом, для формирования качественных условий и получения итоговой предиктивной модели необходимо сформировать группы их удельного влияния по следующим процессам.

- анализ мониторинговых данных с объекта по заданным параметрам;
- архивные данные по структуре ранее зафиксированных инцидентов, зачастую связанных с качеством ранее проведенных ремонтных работ в рамках технического обслуживания и планово-предупредительного ремонта;
- иные данные об эксплуатируемом объекте (технические характеристики, используемое оборудование, климатические условия и т.д.);
- финансовые характеристики объекта мониторинга;
- качественные показатели использования.

Таким образом, чтобы создать эффективную модель «цифрового двойника» объекта, необходимо анализировать не только его технические характеристики, но и финансовые, а также качественные показатели (полигон курсирования, населенность, цена билета, оборот вагона). Именно совокупность данных различного происхождения позволит эффективно использовать инструмент анализа, а с внедрением в него процесса «просеивания» больших объемов данных и извлечения из них наиболее ценной информации для точечного применения, в том числе и с использованием нестандартных по своей природе подходов, станет возможно сформировать предиктивную модель использования физического объекта по его «цифровому клону», а также сформировать прогнозную бизнес модель использования ПВ.

В качестве одного из подходов к автоматизированному планированию ремонта и его перехода в полноценную модель «цифрового ремонта» необходимо выделить использование информационных систем для принятия стратегических решений, используя эвристические методы [10]. Такой подход потенциально может нести высокий уровень эффективности.

Рассмотрим процесс ремонта пассажирских вагонов (далее – ПВ) по их техническому состоянию (далее – ТС), который имеет в своем составе n -ое количество заменяемых деталей, опираясь на несколько предельных состояний ПВ. Процесс ремонта по ТС ПВ будет трансформирован в многоуровневую модель [8], к которой, с учетом применения эвристических правил, в рамках пассажирского вагоноремонтного предприятия на верхнем и локальном уровнях. Под локальным уровнем ремонта будем понимать единичные детали ПВ и взаимодействие между персоналом на внутрицеховом (линейном) уровне, а под верхним уровнем ремонта – процессы, которые будут проводиться на уровне руководства вагоноремонтного предприятия.

В настоящее время процесс ремонта на вагоноремонтном предприятии можно разделить на следующие два основных направления – это «внеплановый ремонт» и «планово-предупредительный ремонт». «Внеплановый ремонт» выполняется по факту достижения ПВ состояния отказа оборудования и перехода его в неработоспособное состояние, приводящее к снижению эффективности его использования и влекущее к дополнительным внеплановым затратам. «Планово-предупредительный ремонт» зачастую влечет за собой ряд избыточных действий для проверки работоспособности ПВ и фактического достижения допустимого ресурса использования его элементной базы. Эти факторы приводят к снижению эффективности использования ПВ на эксплуатационном этапе его жизненного цикла.

Для решения данной задачи целесообразно рассмотреть концепцию ремонта подвижного состава «по состоянию», опираясь на мониторинг данных, полученных с диагностических систем и технических неисправностей, фиксируемых в период эксплуатации ПВ. На основании диагностики и мониторинга можно рассчитать остаточный ресурс (далее – ОР) самого ПВ, а также его диагностируемых элементов, также возможно определить «узкие места» в технологических операциях или установить недостаточную надежность отдельных деталей, установленных на ПВ [9].

При рассмотрении классических вариантов ремонта объекта «по состоянию» обычно данные процессы сводятся применительно к одной единице оборудования (ПВ). В нашем же случае, ремонтное предприятие, принимая на себя обязательства ремонта «по состоянию» должно понимать, что имеет дело со множеством целевых факторов, такие как: общецеховые цели на выпуск отремонтированной продукции (в данном случае ПВ), наличие персонала, вовлеченного в процесс ремонта, включая их компетенции и навыки, информация о ремонтируемом парке ПВ (включая модели вагонов, их назначения, номенклатуру ремонтируемого оборудования в зависимости от компоновки ПВ),

мониторинговые и диагностические данные о его эксплуатации, фактическая и перспективная заявка запасных частей и материалов (в том числе и ПВ с повышенным объемом ремонта) и т.д.

Если сформировать эталонный процесс ремонта, то он должен быть структурирован следующим образом (рис. 1).

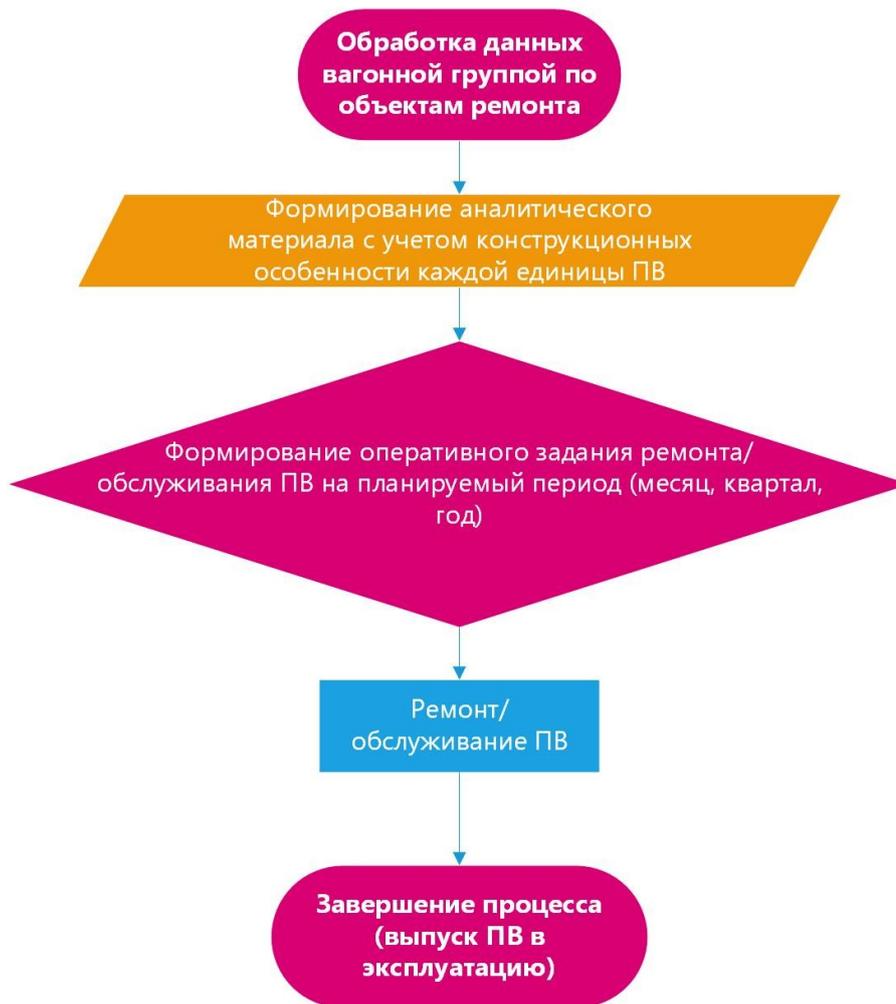


Рисунок 1 - Эталонная схема ремонта пассажирского вагона

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2024.143.142.1>

Таким образом, при выполнении ремонта ремонтное предприятие будет представлять собой комбинацию ремонтных работ каждого элемента подвижного состава (колесные пары, тормозное оборудование, электрооборудование и т.д.). Для реализации своевременного выпуска ПВ после ремонтных операций необходимо найти оптимальное решение в использовании технологических, финансовых ресурсов, загрузкой ремонтного предприятия объектами, а также наличия необходимого количества ремонтного персонала.

Для решения данной задачи примем:

- Предприятие содержит m ПВ и n производственных цехов ($n < m$).

- Для выполнения плана ремонта предприятию необходимо отремонтировать l ПВ (l – изменяется в соответствии с планом выпуска из ремонта вагонов с учетом, что предприятием должно быть достигнуто $l \leq m$).

- Каждый ПВ состоит из p элементов (подлежащие ремонту). Оставшийся остаточный ресурс (ОР) вагона известен.

- Все работники имеют одинаковую квалификацию.

- Одинаковые узлы имеют одинаковое время ремонта.

Введем дополнительные условия и допущения:

- При замене узла на новый в ПС его ресурс ОР возрастает до максимального значения.

- ОР детали ПВ уменьшается при работе, во время простоя ОР детали не изменяется. Кроме того, ОР детали может корректироваться на основании опыта эксплуатации (исторических данных).

- Запасные части и узлы всегда доступны для их замены на новые.

- ОР детали ПС подсчитаны верно.

- Один цех осуществляет ремонт одной детали ПВ.

Состояние каждого ПВ сравнивается с данными о предельном состоянии с установленной периодичностью. В рамках данной статьи будет рассмотрено 2 состояния детали: «подлежит ремонту» – r (подлежит замене на новую) и «условный ремонт» – T (предельное значение).

Таким образом, условия по организации ремонта ПВ примет следующее состояние:

1. $OP > T$ в таком случае ПВ перейдет в состояние «Ремонт не требуется» A_1 .
2. $\tau < OP \leq T$ в таком случае ПВ перейдет в состояние «Условный ремонт» A_2 . При данном состоянии ПВ будет зависеть от множества различных факторов, такие как укомплектованность штата работников, последовательное выполнение операций и т.д.
3. $OP < \tau$ в таком случае ПВ перейдет в состояние «Обязательное проведение ремонта» A_3 .

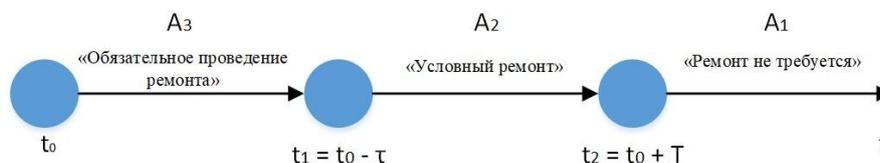


Рисунок 2 - Предельные значения состояний ПВ

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2024.143.142.2>

При расчете значения τ и T устанавливаются эвристическим путем на основании полученных данных с мониторинговых датчиков. Параметр τ также может устанавливаться на основании регламентирующих или рекомендуемых данных производителем ПВ или его соответствующей элементной базы.

Основной целью выполнения данного процесса является максимальной доступностью элементов ПВ для выполнения ремонта за планируемый период.

Организация ремонта ПВ «по стоянию» требует от участков (цехов) большой коммуникации как между собой, так и с диспетчерским аппаратом предприятия. Более того, руководители цехов и диспетчерский аппарат должны оперативно влиять на постоянно меняющуюся ситуацию с целью принятия корректирующих мер и решений по выполнению плана ремонта. Как один из вариантов реализации программы ремонта является формирование многоуровневой модели.

В рамках данной системы структуру ремонта «по стоянию» можно раздробить на 2 уровня: Уровень Вагоноремонтного Предприятия (далее – УВП) и Уровень Ремонтного Персонала (далее – УРП), а сам процесс управления предприятием можно выделить как Уровень Управления и Взаимодействия (далее – УУВ).

УВП является стратегическим органом управления и описывает свойственные ей характеристики, в том числе расчет надежности, который отвечает за формирование требований к объемным показателям ремонта и технического обслуживания.

В свою очередь, УРП содержит требования к планированию и распределению работ в соответствующих цехах и производственных участках с последующим докладом руководству вагоноремонтного предприятия. Данная многоуровневая модель схематически представлена на рис. 3.

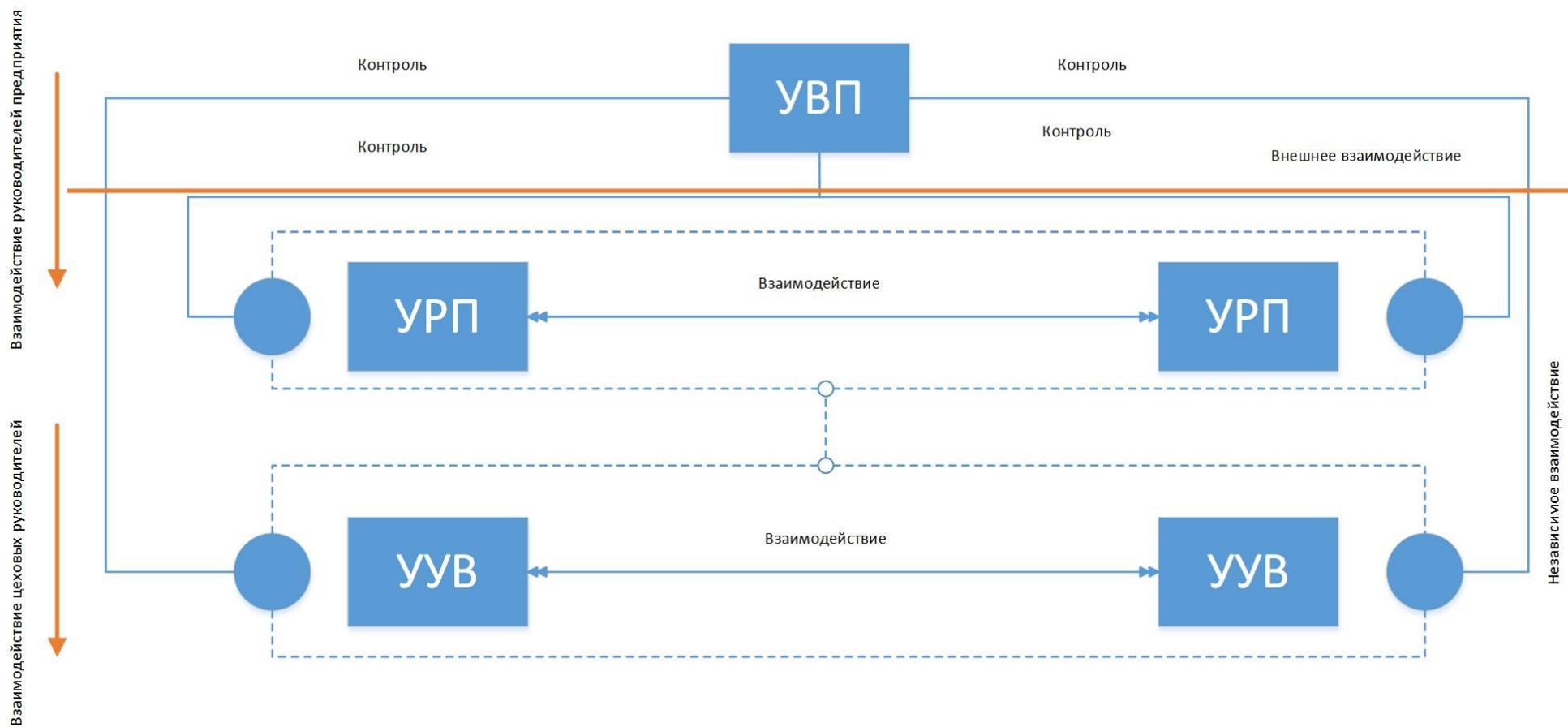


Рисунок 3 - Структура двухуровневой модели управления ремонтным предприятием
DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2024.143.142.3>

Основное планирование осуществляется со стороны УВП. Когда УВП принимает доклады от УРП, он координирует, осуществляет внешнее взаимодействие и контролирует процессы организации и проведения ремонта подвижного состава в целом, формирует стратегию ремонтной компании с учетом рационального использования трудовыми и финансовыми ресурсами.

Внутрицеховое взаимодействие между УВП и УРП направлено на реализацию конкретных заданий для качественного проведения технического обслуживания и ремонта ПВ.

Порядок взаимодействия между цехами и участками основан на эвристических правилах.

Предположим, что взаимодействие между всеми участками и цехами осуществляется на принципах «взаимовыручки» и «соревнования». Это означает, что каждый руководитель участка осуществляет взаимодействие с подразделениями своей и других (смежных) компаний таким образом, чтобы максимизировать свою роль на пределе своих возможностей. Практически формируется следующий процесс: каждый ремонтный участок стремится отремонтировать свою часть ПВ как можно быстрее, взаимодействие между работниками цехов выстраивается таким образом, чтобы осуществить ремонт как можно большего количества ПВ.

Так как в условиях выбрана двухуровневая система взаимодействия назовем их «независимое взаимодействие» (далее – НВ) и «внешнее взаимодействие» (далее – ВВ). Заданные условия для изыскания и проведения оптимизации по результатам взаимодействия между несколькими ремонтными бригадами является достаточно сложной, следовательно, каждый уровень их сотрудничества должен также подчиняться эвристическим правилам. Рассмотрим каждое из них.

Эвристическое правило «независимое взаимодействие». На уровне НВ свободный УРП взаимодействует с УВП для того, что получить дополнительное задание на ремонт подвижного состава. Можно рассмотреть вариативность выполнения данного НВ путем следующих альтернативных решений:

1. ПВ находится в статусе «Обязательное проведение ремонта», состояние A_3 :

· Принцип минимального ожидания ремонта: для каждой единицы ПВ структурное предприятия, находящиеся в состоянии A_3 , запланировано минимальное среднее время ожидания ПВ перед постановкой их на ремонтные позиции. Обозначим этот алгоритм, как «принцип 1А».

· Принцип максимального количества отремонтированных ПВ за отведенный период времени: в данном случае, когда персонал участка (цеха) не задействован в ремонте ПВ (отсутствуют объекты ремонта), участку (цеху) оформляется задание на его ремонт с наименьшим временем. Обозначим этот алгоритм как «принцип 1Б».

· Принцип занятости персонала участка (цеха): данный принцип включает в себя максимальное количество отремонтированных ПВ силами минимального количества персонала. Освободившиеся работники направляются на ремонт других элементов ПВ или производят ремонт деталей и оборудования оборотного фонда, а также для нужд эксплуатационных подразделений. Обозначим это как «принцип 1В».

2. ПВ находится в состоянии «Условного ремонта», состояние A_2 :

· Принцип наибольшего количества ремонта ПВ в ограниченный интервал времени: данное условие возникнет если у персонала отсутствуют объекты ремонта и на него может быть оформлен наряд на ремонт ПВ с наименьшим временем ремонта. Обозначим этот принцип, как «принцип 2А».

Эвристическое правило «внешнее воздействие» (ВВ). В его рамках ВВ УУВ взаимодействует с УВП для формирования глобальной стратегии ремонта ПВ, выполнения технологических операций и маршрутных карт с последующей отправкой заданий УРП.

Допустим, что план отремонтированных ПВ на текущий момент времени равен l_n . УРП представляет информацию о текущем состоянии ПВ приемщику пассажирских вагонов (далее – ППВ). ППВ анализирует информацию и записывает в каком состоянии находится каждая единица ПВ. Так, в состоянии «Обязательное проведение ремонта» находится m_3 ПВ, в состоянии «Условный ремонт» находятся m_2 ПВ и в состоянии «Ремонт не требуется» находятся m_1 единиц ПВ. Далее ППВ подсчитывает количество ПВ, которые можно отремонтировать в рамках отведенного периода времени t_4 и, согласно правилам 1А, 1Б, 1В ищет максимально возможное значение m_4 . Таким образом количество ПВ, готовых к проведению ремонта составит $m_0 = m_1 + m_2 + m_4$.

На основании проведенного анализа эвристические правила принятия решения примут следующие возможные варианты:

1. Если $m_0 < l_n$, тогда выполнение плана ремонта вагонов невозможен, план не реализуем. Обозначим это «принцип 3А».

2. Если количество ПВ, находящееся в состоянии A_1 , удовлетворяет условию $m_1 \geq l_n$, тогда необходимое количество ПВ будет задействовано в перевозках, ПВ требующий ремонт и находящийся в состоянии A_3 будет ремонтироваться в соответствии с принципом 1А. После завершения ремонта ПВ в состоянии A_3 , УРП приступит к ремонту ПВ в состоянии A_2 согласно принципу 2А. Зафиксируем его как «принцип 3Б».

3. Если $m_1 < l_n \leq m_1 + m_2$, тогда ПВ находящиеся в состоянии A_3 будут ремонтироваться в соответствии с принципом 1Б. Примем это за «принцип 3В».

4. Если $m_1 + m_2 < l_n \leq m_1 + m_2 + m_4$, тогда ПВ, находящийся в ремонте A_3 , будет ремонтироваться по принципу оптимального ОР. Данный принцип обозначим, как «принцип 3Г».

5. После получения необходимого количества отремонтированных ПВ для осуществления перевозок выбираем ПВ с наименьшим ОР. Обозначим данный принцип как «принцип 3Д».

6. В случае, если производственные мощности предприятия не задействованы в текущем производственном процессе, а ПВ находится в стадиях A_2 и A_3 , то их ремонт будет осуществляться по принципам 2А и 1А соответственно. Обозначим это, как «принцип 3Е».

На основании изложенного и структуры формируемой модели, схема взаимодействия в структурном предприятии будет выглядеть следующим образом (рис. 4).

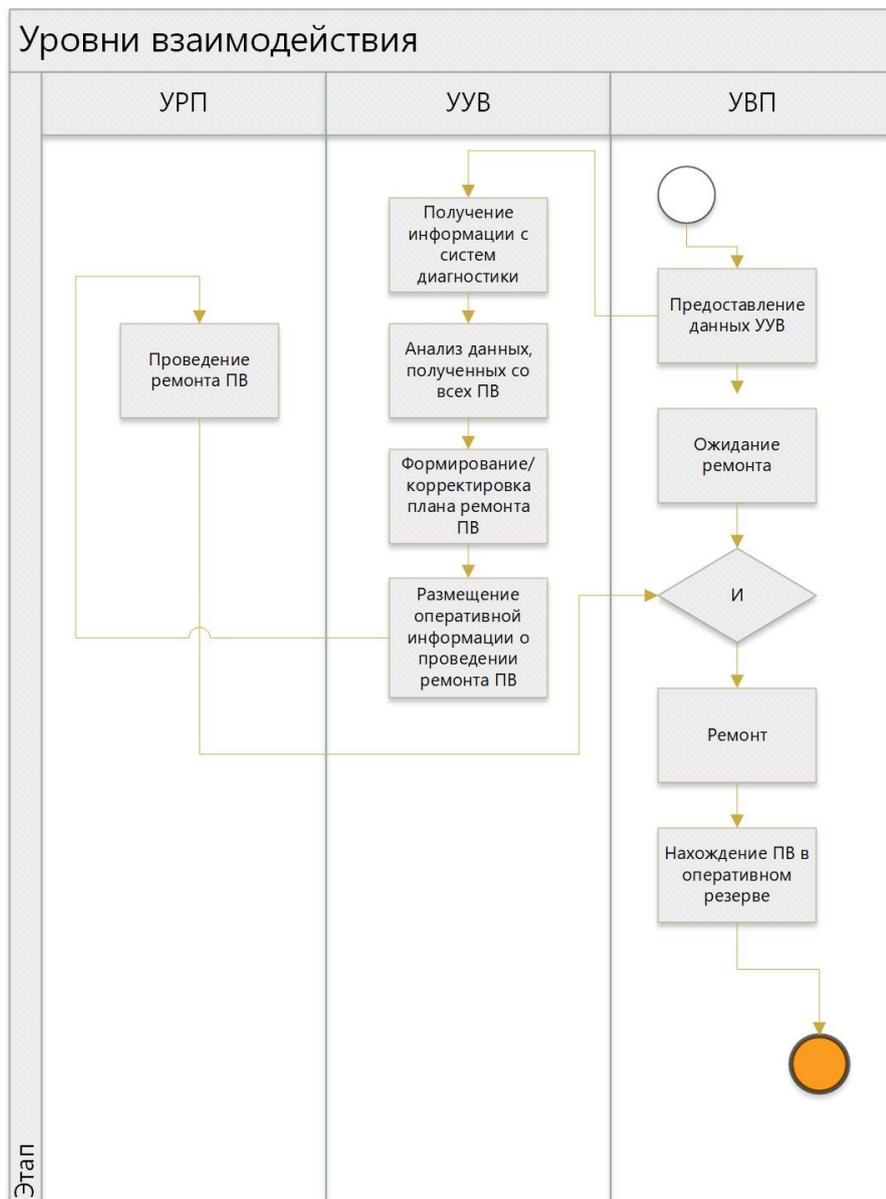


Рисунок 4 - Схема внутрицехового взаимодействия
DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2024.143.142.4>

Заключение

Таким образом, информация о поступающим в ремонт ПВ имеет важную составляющую. Заблаговременное предоставление информации о мониторинге и состоянии ПВ позволит обеспечить заявку необходимого количества запасных частей и материалов для сокращения нахождения вагона в ремонте. В зависимости от состояния ОР элементной базы подвижного состава можно увеличить количество отремонтированных ПВ за отчетный период, в сравнении с классическим подходом, а также повысить эффективность, безотказность и надежность в эксплуатации. Периодическая переподготовка и обучение персонала позволяет избежать «человеческого фактора» при ремонте и техническом обслуживании нового и модернизированного подвижного состава. Кроме того, применение современных алгоритмов при грамотно выстроенном процессе позволит существенно улучшить процесс управляемости и оборачиваемости запасных частей и деталей для проведения планового восстановительного ремонта, а также для эксплуатационных нужд.

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. Прайсвотерхаус Куперс Консультирование // «Индустрия 4.0»: создание цифрового предприятия. — 2016 — URL: <https://www.pwc.com/industry40> (дата обращения: 07.03.2024)
2. Замышляев А.М. Прикладные информационные системы управления надежностью, безопасностью, рисками и ресурсами на железнодорожном транспорте / А.М. Замышляев — Ульяновск: Печатный двор, 2013. — 143 с.
3. Цифровой завод. MES система завода. 2050.Интегратор. — 2019. — №1. — URL: <https://clck.ru/3AbpdJ> (дата обращения: 07.03.2024)
4. Гарант.ру. — 2023 — URL: <https://www.garant.ru/article/1605871/> (дата обращения: 17.04.2024)
5. Аболмасов А.А. Перспективы предиктивного ремонта / А.А. Аболмасов, И.К. Лакин, А.И. Баранов // Перспективы развития сервисного обслуживания локомотивов: Материалы междунар. науч.-практ. конф. — 2018. — 1. — с. 87-93.
6. PricewaterhouseCoopers. — 2023 — URL: <https://www.pwc.com/> (accessed: 17.04.2024)
7. Анадунов А.С. Автоматизированная система контроля за работой специального подвижного состава / А.С. Анадунов // Бюллетень объединенного ученого совета ОАО «РЖД»; — Вып. 6. — Москва: РЖД, 2016. — с. 29-35.
8. Лакин И.К. Автоматизированное управление жизненным циклом локомотивов на этапе их эксплуатации / И.К. Лакин, А.А. Аболмасов // Перспективы развития сервисного обслуживания локомотивов: Материалы междунар. науч.-практ. конф. — Москва: Российский Университет Транспорта, 2018. — Вып. 1. — с. 214-230.
9. Арагков А.П. Управление качеством / А.П. Арагков — Москва: Дашков и К, 2017. — 208 с.
10. Van der Duyn Schouten Frank A. Maintenance Management Decision Models / Frank A. Van der Duyn Schouten, F.A. Dekker. — 2000. — №1. — DOI: 10.1007/1-4020-0612-8_535.
11. General Electric. — 2024. — №1. — URL: <https://www.ge.com> (accessed: 07.03.2024)
12. Буш Г.Я. Основы эвристики для изобретателей. Чч. I—II / Г.Я. Буш — Рига: Знание, 1977. — 95 с.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Prajsvoterhaus Kupers Konsul'tirovanie [Pricewaterhouse Coopers Consulting] // "Industry 4.0": creating a digital enterprise. — 2016 — URL: <https://www.pwc.com/industry40> (accessed: 07.03.2024) [in Russian]
2. Zamyshljaev A.M. Prikladnye informatsionnye sistemy upravlenija nadezhnost'ju, bezopasnost'ju, riskami i resursami na zheleznodorozhnom transporte [Applied information systems for managing reliability, safety, risks and resources in railway transport] / A.M. Zamyshljaev — Ul'janovsk: Pechatnyj dvor, 2013. — 143 p. [in Russian]
3. Cifrovoj zavod. MES sistema zavoda. 2050.Integrator [Digital factory. MES system of the plant. 2050.Integrator]. — 2019. — №1. — URL: <https://clck.ru/3AbpdJ> (accessed: 07.03.2024) [in Russian]
4. Garant.ru. — 2023 — URL: <https://www.garant.ru/article/1605871/> (accessed: 17.04.2024) [in Russian]
5. Abolmasov A.A. Perspektivy prediktivnogo remonta [Prospects for predictive repair] / A.A. Abolmasov, I.K. Lakin, A.I. Baranov // Prospects for the development of locomotive service: Materials of the International Scientific-practical Conf. — 2018. — 1. — p. 87-93. [in Russian]
6. PricewaterhouseCoopers. — 2023 — URL: <https://www.pwc.com/> (accessed: 17.04.2024)
7. Anadurov A.S. Avtomatizirovannaja sistema kontrolja za rabotoj spetsial'nogo podvizhnogo sostava [Automated system for monitoring the operation of special rolling stock] / A.S. Anadurov // Bulletin of the Joint Academic Council of JSC Russian Railways; — Issue 6. — Moskva: RZhD, 2016. — p. 29-35. [in Russian]
8. Lakin I.K.. Avtomatizirovannoe upravlenie zhiznennym tsiklom lokomotivov na etape ih ekspluatatsii [Automated management of the life cycle of locomotives at the stage of their operation] / I.K. Lakin, A.A. Abolmasov // Prospects for the development of locomotive service: Materials of the international Scientific-practical Conf. — Moskva: Rossijskij Universitet Transporta, 2018. — Issue 1. — p. 214-230. [in Russian]
9. Aragkov A.P. Upravlenie kachestvom [Quality management] / A.P. Aragkov — Moskva: Dashkov i K, 2017. — 208 p. [in Russian]
10. Van der Duyn Schouten Frank A. Maintenance Management Decision Models / Frank A. Van der Duyn Schouten, F.A. Dekker. — 2000. — №1. — DOI: 10.1007/1-4020-0612-8_535.
11. General Electric. — 2024. — №1. — URL: <https://www.ge.com> (accessed: 07.03.2024)
12. Bush G.Ja. Osnovy evristiki dlja izobretatelej. Chch. I—II [Fundamentals of heuristics for inventors. Pt. I-II] / G.Ja. Bush — Riga: Znanie, 1977. — 95 p. [in Russian]