

В. Г. Каргин, А. А. Рогов

МОДЕЛЬ УПРАВЛЕНИЯ ЖИЗНЕННЫМ ЦИКЛОМ ВАГОНА

Аннотация. Управление жизненным циклом сложных технических объектов играет одну из ключевых ролей в формировании показателей надежности и эффективности их использования. В настоящее время существующие автоматизированные системы управления (АСУ) по мониторингу, контролю и ремонту, в частности, грузового подвижного состава, осуществляют в режиме реального времени сбор информации, где источниками являются инфраструктурные приборы безопасности, диагностическое оборудование в ремонтных цехах и на пунктах технического обслуживания, формирующие в итоге статистические данные по использованию подвижного состава за контролируемый период времени (месяц, квартал, год и т.д.). Интегрированная информация из комплекса данных источников существенно важна для собственника (оператора) и изготовителя подвижного состава для проведения анализа и прогноза старения самого вагона и его элементной базы в течение всего срока эксплуатации. Целью данной работы является формирование модели управления жизненным циклом грузового вагона на основе разработки единой интегрированной информационной базы данных, позволяющей создать его полноценный «цифровой двойник». Такое решение также позволяет получать информацию для проведения многофакторного анализа, что является действенным инструментом в управлении жизненным циклом вагона. Проведенное исследование подтверждает эффективность применения данного инструмента для решения задач по обобщенной обработке массива разрозненной информации, находящейся в различных АСУ, что позволяет управлять ресурсом вагона и его элементной базы, в том числе исключить возможность возникновения критических неисправностей, нарушения требований перевозки груза, длительных простоев для проведения восстановительного ремонта. Данная модель имеет высокий потенциал применения в структурах железнодорожной отрасли и позволяет повысить техническую и экономическую эффективность подвижного состава в перевозочной деятельности.

Ключевые слова: модель управления, рефрижераторный вагон, цифровой двойник, многофакторный анализ, эффективность.

Для цитирования: Каргин, В. Г. Модель управления жизненным циклом вагона / В. Г. Каргин, А. А. Рогов // Труды Ростовского государственного университета путей сообщения. – 2026. – № 1. – С. 114–122. – DOI 10.46973/1818-5509_2026_1_114.

Введение

Российские железные дороги имеют многочисленные протяженные маршруты и занимают одну из лидирующих позиций по величине участковой скорости в мире – 38,7 км/ч, они также являются одними из основных лидеров в мире по грузообороту [1]. В соответствии со «Стратегией развития железнодорожного транспорта в Российской Федерации до 2030 года» (Стратегия) [2] запланирована ликвидация «узких мест»; увеличение грузопогрузки в 1,47 – 1,6 раза (по минимальному и максимальному прогнозу); развитие тяжеловесного движения; снижение транспортных издержек в 1,8 раза для высвобождения экономических

ресурсов, а также повышение глобальной конкурентоспособности. Стратегия также нацелена на существенное сокращение средних сроков доставки груза (более, чем на 23 %) с обеспечением его сохранности, а также на внедрение технологии позиционного контроля за процессами их перевозки.

Целевые требования Стратегии, в том числе, ставят задачи перед собственниками и изготовителями подвижного состава в области повышения надежности вагонов, совершенствования системы их технического обслуживания и ремонта (ТОиР), которое достигается на основе повышения надежности вагона и его элементной базы, совершенствовании конструкции, а также установления причин нестабильно или недостаточно надежной работы отдельных элементов вагона. В настоящее время решить указанные задачи возможно с использованием многофакторного анализа характеристик процессов использования вагона, собирая и обрабатывая большой объем данных из многочисленных автоматизированных систем.

Задачи повышения эффективности использования рельсового подвижного состава, а также существующих систем ТОиР неоднократно становились темами научных исследований [3 - 5]. Так, в [3] разработана модель автоматизированного управления техническим состоянием локомотива в условиях сервисного обслуживания с встраиванием в систему ТОиР вероятностно-статистических методик управлением качеством и эксплуатационной надежностью с учетом применения принципов управления качеством и бережливого производства.

В [4] предложена модель управления жизненным циклом локомотива с использованием микропроцессорной диагностики оборудования, позволяющая устанавливать фактическое изменение и управление ресурсами локомотива на всем его жизненном цикле. В [5] обосновывается необходимость внедрения технологии «цифровой двойник» в жизненный цикл грузовых вагонов с переходом от статистических цифровых моделей и «цифровых теней» к полноценным «цифровым двойникам» с двухсторонней связью «физический объект – виртуальная модель».

Авторами доказано, что применение предлагаемых в исследованиях решений позволят повысить экономическую эффективности эксплуатации подвижного состава, точно назначать сроки службы и межремонтные пробеги, прогнозировать аварийные ситуации, а также сокращать количество натурных испытаний за счет использования виртуальных полигонов.

Современное техническое развитие позволяет интегрировать получаемые данные из различных автоматизированных систем в единую киберфизическую модель по принципам интероперабельности [6].

Для комплексного управления жизненным циклом рефрижераторного вагона необходимо создание межплатформенной системы управления базами данных, получаемых от инфраструктурных и диагностических комплексов, а также от телеметрических датчиков вагона.

В рамках данного научного исследования необходимо отметить, что существующие нормативные подходы периодичности проведения ТОиР нуждаются в интеграции с АСУ различных уровней. Таким образом, задача по формированию модели управления жизненным циклом вагона (МУЖЦВ) является актуальной.

Материалы и методы

Рефрижераторный вагон, предназначенный для перевозки скоропортящихся грузов (СПГ), конструкционно оборудован холодильно-нагревательной установкой (ХНО) и дизель генераторной установкой (ДГУ), вырабатывающей электроэнергию для обеспечения функционирования всех систем, в том числе позволяющей использовать телеметрическое оборудования для мониторинга ХНО и управления отдельными элементами ДГУ. Рефрижераторный вагон 16-1881 оборудован не только указанными элементами – на нем также установлены солнечные батареи, позволяющие даже во время длительного перестоя

При такой информационной архитектуре требуется интеграция получаемых данных из различных АСУ в единую информационно-аналитическую базу.

Формирование комплексного решения реализовано на примере программного продукта «Модель управления жизненным циклом вагона» [9] в который, на основе автоматизированной интероперабельности или внесения данных оператором, накапливается информация об: использовании вагона в поездах; отвлечении на погрузо-выгрузочные операции; подготовке и уборке; проведении плановых и внеплановых ремонтных и экипировочных работ; износе узлов и деталей (тормозная колодка, колесная пара); учете достижения оборудованием назначенного срока службы (НСС) для его своевременной замены. В результате формируется полноценный «цифровой двойник» эксплуатационного этапа жизненного цикла вагона.

Например, при проведении текущего отцепочного или планового ремонта, нормативно требуется заносить данные о всем фактическом объеме ремонтных работ в дефектную ведомость вагона формы ВУ-22 [10]. Именно в данной ведомости наиболее полно отражаются все данные по объему выполняемых работ, замене узлов и деталей, а также проведения иных операций на вагоне, которые не фиксируются в электронном паспорте (например, обточка поверхности катания колесной пары с последующей ее подкаткой обратно под вагон).

На основе моделирования с внесением всех регламентных замен элементов, можно установить оборудование, требующее системного или периодического ремонта (рисунок 2). Данное решение является одним из элементов формирования многофакторного анализа использования вагона на эксплуатационном этапе его жизненного цикла.

История ремонтов ВУ-22

+ Добавить

Тип ремонта	Дата	Компоненты	Строк работ
Внеплановый	07.12.2024	Колёсная пара, Тормозное оборудование	2
ДР	22.07.2023	Ходовые части, Колёсная пара, Автоцепное устройство, Тормозное оборудование, Электрооборудование, Аккумуляторные батареи, Пожарная сигнализация и безопасность, Телеметрия и диагностика	8
Внеплановый	23.03.2022	Колёсная пара, Буфсы и подшипники, Тормозное оборудование	3
ДР	04.11.2020	Ходовые части, Колёсная пара, Автоцепное устройство, Тормозное оборудование, Электрооборудование, Кондиционирование воздуха (климатическая установка)	7
Внеплановый	07.07.2019	Колёсная пара, Тормозное оборудование	2

Рис. 2. История ремонтов, перенесенных из дефектной ведомости ВУ-22 условного вагона № 00000006

По результатам статистических данных выявленных причин отказов наблюдаемой эксплуатации 73 изотермических вагонов за 2024 г. построим диаграмму Парето, которая показывает, что в зону наибольшего внимания попадает обслуживание автотормозного, электро и автосцепного оборудования, колесных пар, ходовых частей и пожарной сигнализации.

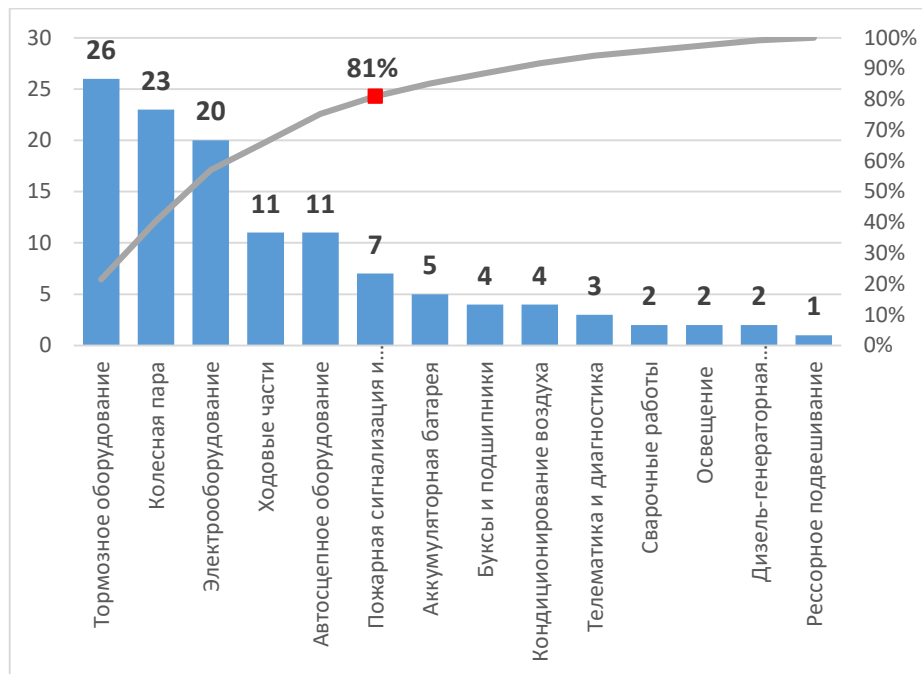


Рис. 3. Диаграмма Парето замены и ремонта оборудования при проведении имитационного моделирования

Следовательно, на эксплуатационном этапе жизненного цикла требуется уделять особое внимание именно этому оборудованию, а также планировать перспективную закупку или ремонтные операции данной элементной базы вагона.

Вместе с этим в МУЖЦВ в режиме реального времени можно получать следующую информацию: основные характеристики вагона (номер, тип, данные о постройке, назначенный срок службы, возраст, остаточный ресурс, текущий статус использования); экономические показатели (стоимость, затраты на ТОиР, затраты на замену оборудования, остаточная стоимость узлов); история ремонтов (где и когда проводился ремонт, в каком структурном подразделении, затраты); последняя замена оборудования (элемент, дата, прогнозная дата замены, стоимость, остаточный ресурс); состояния колесных пар (износы поверхности катания и толщина обода); данные о последнем ремонте и допуске вагона на пути общего пользования; простои вагона (общее отвлечение вагона из рабочего парка, количество записей, простои по причинам). Фрагмент цифрового паспорта вагона представлен на рисунке 4.

Заключение

Проведенное исследование позволяет получить и сформировать данные для многофакторного анализа использования вагона на эксплуатационном этапе жизненного цикла с дальнейшей интеграцией данных в «цифрой двойник» вагона.

Многофакторный анализ позволяет сопоставлять информацию о назначенном сроке службы элементной базы, установленного изготовителем, с фактическими результатами эксплуатации, а также прогнозировать ситуацию выхода из строя или нестабильной работы оборудования.

Анализ маршрутов курсирования дает возможность создавать индивидуальную систему ТОиР для каждой единицы подвижного состава в зависимости от интенсивности и условий его использования.

В целом, предложенная модель управления жизненным циклом рефрижераторного вагона позволяет значительно повысить экономическую эффективность и надежность на эксплуатационном этапе жизненного цикла.

ЦИФРОВОЙ ПАСПОРТ ВАГОНА

№ 00000006

Дата выдачи: 23.04.2026

Тип: 16-1881 (АРВ)

В эксплуатации

Конец ресурса

Система СЖЦ

1. ИДЕНТИФИКАЦИЯ И ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Номер вагона	00000006	Назначенный ресурс	32 лет
Тип вагона	16-1881 (АРВ)	Возраст	32,3 лет
НСС (секция состава)	—	Остаток ресурса	0% (0 лет)
Завод-изготовитель (клеймо)	5	Маршрут курсирования	—
Дата изготовления	01.01.1994	Текущий статус	В эксплуатации

Использовано ресурса: 32,3 из 32 лет | Остаток: 0%

2. ФИНАНСОВАЯ СВОДКА

ЦЕНА ПОКУПКИ — тыс. руб.	РЕМОНТЫ (ФАКТ) 4160 тыс. руб.	ДЕТАЛИ / НСС 8480 тыс. руб.	ИТОГО ВЛОЖЕНО 12640 тыс. руб.	ОСТАТОК. СТ-ТЬ УЗЛОВ 616 тыс. руб.
--------------------------------	-------------------------------------	-----------------------------------	-------------------------------------	---

3. ИСТОРИЯ РЕМОНТОВ

Дата	Вид ремонта	Предприятие	Стоимость, тыс. руб.	Примечание
07.12.2024	ТОР	2	30	—
22.07.2023	ДР (Деповской ремонт)	3	200	—
23.03.2022	ТОР	2	30	—
04.11.2020	ДР (Деповской ремонт)	3	200	—
07.07.2019	ТОР	2	30	—
18.02.2018	ДР (Деповской ремонт)	3	200	—
20.10.2016	ТОР	2	30	—
04.06.2015	ДР (Деповской ремонт)	3	200	—
03.02.2014	ТОР	2	30	—
17.09.2012	ДР (Деповской ремонт)	3	200	—
20.05.2011	ТОР	2	30	—
01.01.2010	КР (Капитальный ремонт)	3	1800	—
04.11.2008	ДР (Деповской ремонт)	3	200	—
07.07.2007	ТОР	2	30	—
18.02.2006	ДР (Деповской ремонт)	2	200	—
20.10.2004	ТОР	3	30	—
04.06.2003	ДР (Деповской ремонт)	2	200	—
03.02.2002	ТОР	—	30	—
17.09.2000	ДР (Деповской ремонт)	2	200	—
20.05.1999	ТОР	3	30	—
01.01.1998	ДР (Деповской ремонт)	2	200	плановый ремонт
05.10.1996	ТОР	—	30	—
20.05.1995	ТОР	3	30	дефект на поверхности катания колесной пары

Рис. 4. Фрагмент цифрового паспорта вагона

Список литературы

1. Министерство транспорта Российской Федерации. Официальный сайт [сайт] <https://mintrans.gov.ru/> (дата обращения 21.04.2026).
2. Стратегия развития железнодорожного транспорта до 2030 года, утвержденная Распоряжением Правительства РФ от 17.06.2008 г. № 877-р. – Москва, Правительство РФ, 2008, 70 с.
3. **Аболмасов, А. А.** Управление техническим состоянием тягового подвижного состава в условиях сервисного обслуживания : дисс. ... на соиск. уч. ст. канд. техн. наук. – Москва: МИИТ, – 2017. – 180 с
4. **Семенов, А. П.** Модель управления жизненным циклом локомотивов с использованием современных методов технического диагностирования : специальность 05.22.07 «Подвижной состав железных дорог, тяга поездов и электрификация» : диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук / Семенов Александр Павлович, – 2022. – 379 с.
5. **Шевченко, Д. В.** Методология построения цифровых двойников на железнодорожном транспорте / Д. В. Шевченко // Вестник Научно-исследовательского института железнодорожного транспорта. – 2021. – Т. 80, № 2. – С. 91-99. – DOI 10.21780/2223-9731-2021-80-2-91-99.
6. **Семенов, А. П.** Организация управления жизненным циклом отечественных локомотивов / А. П. Семенов // Вестник Уральского государственного университета путей сообщения. – 2021. – № 1(49). – С. 62-71. – DOI 10.20291/2079-0392-2021-1-62-71.
7. Вагон рефрижераторный автономный, модель 16-1881. Руководство по эксплуатации 1881.00.000 РЭ. Утвержденное генеральным конструктором ООО «ТСКБМ им. В.М.Бубнова» В.М. Бубновым 09.07.2021 г. – 114 с.
8. Патент № 2753314 C1 Российская Федерация, МПК B61D 3/00, B60P 3/20,

References

- 1 Ministry of Transport of the Russian Federation. Official website [website] <https://mintrans.gov.ru/> (accessed April 21, 2026).
- 2 Strategy for the development of railway transport until 2030, approved by the Order of the Government of the Russian Federation of June 17, 2008 No. 877-r. – Moscow, Government of the Russian Federation, 2008, 70 p.
- 3 **Abolmasov, A. A.** Management of the technical condition of traction rolling stock under service maintenance conditions: diss. ... for a Ph.D. in engineering sciences. – Moscow: MIIT, – 2017. – 180 p.
- 4 **Semenov, A. P.** Life cycle management model for locomotives using modern methods of technical diagnostics: specialty 05.22.07 "Rolling stock of railways, train traction and electrification": dissertation for the degree of Doctor of Technical Sciences / Semenov Alexander Pavlovich, - 2022. - 379 p.
- 5 **Shevchenko, D. V.** Methodology for constructing digital twins in railway transport / D. V. Shevchenko // Bulletin of the Research Institute of Railway Transport. - 2021. - Vol. 80, No. 2. - P. 91-99. - DOI 10.21780/2223-9731-2021-80-2-91-99.
- 6 **Semenov, A. P.** Organization of life cycle management of domestic locomotives / A. P. Semenov // Bulletin of the Ural State Transport University. - 2021. - No. 1 (49). - P. 62-71. - DOI 10.20291/2079-0392-2021-1-62-71.
- 7 Autonomous refrigerated car, model 16-1881. Operating manual 1881.00.000 RE. Approved by V.M. Bubnov, General Designer of V.M. Bubnov TsKBM LLC, on July 9, 2021. – 114 p.
- 8 Patent No. 2753314 C1 Russian Federation, IPC B61D 3/00, B60P 3/20, B61D 27/00.

В61D 27/00. Вагон автономный рефрижераторный : № 2020137229 : заявл. 11.11.2020: опубл. 13.08.2021 / В. М. Бубнов, В. В. Буров, В. Г. Каргин [и др.] ; заявитель Общество с ограниченной ответственностью "Головное специализированное конструкторское бюро вагоностроения имени Валерия Михайловича Бубнова", Закрытое акционерное общество "Новека Инжиниринг".

9. Свид. 2026618660 Российская Федерация. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ. Модель управления жизненным циклом вагона / Шинкарук А.С., Каргин В.Г., Еремеева А.Н., Вишняков И.А. заявители и правообладатели Шинкарук А.С., Каргин В.Г., Еремеева А.Н., Вишняков И.А. (RU). – № 2026616906, заявл. 26.03.2026.

10. Об утверждении форм первичного учета ОАО «РЖД» по вагонному хозяйству (Распоряжение от 21.05.2024 г. № 1217/р). – Москва. – 2024. – ОАО «РЖД».

Autonomous refrigerated car: No. 2020137229: declared 11.11.2020: published 13.08.2021 / V. M. Bubnov, V. V. Burov, V. G. Kargin [et al.]; applicant Limited Liability Company "Head Specialized Design Bureau for Car Building named after Valery Mikhailovich Bubnov", Closed Joint-Stock Company "Noveka Engineering".

9 Certificate 2026618660 Russian Federation. Certificate of state registration of the computer program. Car life cycle management model / Shinkaruk A.S., Kargin V.G., Ereemeeva A.N., Vishnyakov I.A. Applicants and copyright holders Shinkaruk A.S., Kargin V.G., Ereemeeva A.N., Vishnyakov I.A. (RU). – No. 2026616906, declared 26.03.2026.

10 On approval of primary accounting forms of JSC Russian Railways for the rolling stock fleet (Order dated 21.05.2024 No. 1217/r). – Moscow. – 2024. – JSC Russian Railways.

V. G. Kargin, A. A. Rogov

CAR LIFECYCLE MANAGEMENT MODEL

Abstract. Lifecycle management of complex technical assets plays a key role in determining reliability and operational efficiency. Currently, existing automated control systems (ACS) for monitoring, controlling, and repairing freight rolling stock, in particular, collect information in real time. The sources include infrastructure safety devices, diagnostic equipment in repair shops, and maintenance centers, ultimately generating statistical data on rolling stock usage over a controlled period (month, quarter, year, etc.). Integrated information from these sources is crucial for the owner (operator) and manufacturer of rolling stock for determining and analyzing the aging of the car itself and its components from the beginning to the end of its life. The goal of this work is to develop a lifecycle management model for freight cars based on the development of a unified integrated information database, enabling the creation of a complete "digital twin." This solution also provides information for multivariate analysis, a powerful tool in car lifecycle management. The study confirms the effectiveness of this tool for solving problems involving the unified processing of disparate data stored in various automated control systems. This enables the management of the lifespan of railcars and their components, including eliminating the possibility of critical malfunctions, violations of cargo transportation requirements, and extended downtime for repairs. This model has high potential for application in the railway industry and helps improve the technical and economic efficiency of rolling stock in transportation operations.

Keywords: management model, refrigerated wagon, digital twin, multivariate analysis, efficiency.

For citation: Kargin, V. G. Model of Car Life Cycle Management / V. G. Kargin. A. A. Rogov // Trudy Rostovskogo gosudarstvennogo universiteta putey soobseniya. – 2026. – № 1. – P. 114–122. – DOI 10.46973/1818-5509_2026_1_114.

Сведения об авторах**Каргин Валентин Геннадьевич**

Российский университет транспорта,
кафедра «Вагоны и вагонное хозяйство»,
соискатель ученой степени кандидата
технических наук,
e-mail: w_g_k@mail.ru

Рогов Анатолий Алексеевич

Российский университет транспорта,
кафедра «Управления качеством»,
к.т.н., доцент,
e-mail: rogov_a@rambler.ru

Information about the authors**Kargin Valentin Gennadievich**

Russian University of Transport,
Chair «Carriages and Carriage
Facilities»,
Candidate for the Degree of Candidate of
Technical Sciences,
e-mail: w_g_k@mail.ru

Rogov Anatoly Alekseevich

Russian University of Transport,
Chair «Quality Management»,
Candidate of Technical Sciences, Associate
Professor,
e-mail: rogov_a@rambler.ru