

Научная статья

Статья в открытом доступе

УДК 629.4.014.62

doi: 10.30987/2782-5957-2024-3-49-58

ИНЖЕНЕРНЫЙ АНАЛИЗ РИСКОВ НА ЭКСПЛУАТАЦИОННОМ ЭТАПЕ КОНТРАКТА ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА, КАК МОДЕЛЬ ПЕРЕХОДА К ФОРМИРОВАНИЮ «ЦИФРОВОГО ДВОЙНИКА» ПОДВИЖНОГО СОСТАВА

Андрей Сергеевич Шинкарук^{1✉}, Рафик Хайдарович Рафиков², Дмитрий Геннадьевич
Евсеев³, Михаил Юрьевич Куликов⁴, Никита Александрович Горюнов⁵

^{1,2,3,4,5} Российский университет транспорта (МИИТ), Москва, Россия

¹ Shinkarukas@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0001-8462-8465>

² rafis-89@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0003-3577-3401>

³ evseevvg@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0002-0020-1297>

⁴ muk.56@mail.ru

⁵ nikolay2gor@yandex.ru

Аннотация

Целью настоящего исследования является рассмотрение основных рисков, возникающих в процессе эксплуатации на пассажирском подвижном составе. Интеграция различных нормативных баз в единую аналитическую базу на каждую единицу пассажирского подвижного состава с последующим формированием их «цифрового двойника» с возможностью

автоматического формирования их остаточного ресурса, формирования карты риска выхода из строя элементов, анализ себестоимости и снижения его отвлечения в нерабочем парке.

Ключевые слова: железнодорожный транспорт, пассажирский вагон, надежность, безотказность, наработка, отказ, концепция.

Ссылка для цитирования:

Шинкарук А.С. Инженерный анализ рисков на эксплуатационном этапе контракта жизненного цикла, как модель перехода к формированию «цифрового двойника» подвижного состава / А.С. Шинкарук, Р.Х.Рафиков, Д.Г. Евсеев, М.Ю. Куликов, Н.А. Горюнов // Транспортное машиностроение. – 2024. – №3. – С. 49-58. doi: 10.30987/2782-5957-2024-3-49-58.

Original article

Open Access Article

ENGINEERING RISK ANALYSIS AT THE OPERATIONAL STAGE OF THE LIFE CYCLE CONTRACT AS A MODEL FOR THE TRANSITION TO FORMING A DIGITAL TWIN OF ROLLING STOCK

Andrey Sergeevich Shinkaruk^{1✉}, Rafik Haidarovich Rafikov², Dmitry Gennadievich Evseev³,
Mikhail Yurievich Kulikov⁴, Nikita Aleksandrovich Goryunov⁵

^{1,2,3,4,5} Russian University of Transport (MIIT), Moscow, Russia

¹ Shinkarukas@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0001-8462-8465>

² rafis-89@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0003-3577-3401>

³ evseevvg@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0002-0020-1297>

⁴ muk.56@mail.ru

⁵ nikolay2gor@yandex.ru

Abstract

The study objective is to consider main risks that arise during operation of a passenger train. Integration of various regulatory bases into a single

analytical base for each unit of passenger rolling stock, followed by the formation of their digital twin with the possibility of automatic formation of their residual life,

formation of a risk map of equipment failure, cost analysis and reduction of its distraction in an idle fleet.

Keywords: railway transport, passenger car, reliability, operating time, failure, concept.

Reference for citing:

Shinkaruk AS, Rafikov RH, Evseev DG, Kulikov MYu, Goryunov NA. Engineering risk analysis at the operational stage of the life cycle contract as a model for the transition to forming a digital twin of rolling stock. Transport Engineering. 2024;3:49-58. doi: 10.30987/2782-5957-2024-3-49-58.

Заключение контрактов жизненного цикла, как отдельный бизнес-процесс в нашей стране развивается относительно недавно. На законодательном уровне основные положения для обеспечения контрактной системы закупок товаров, работ, услуг для обеспечения государственных и муниципальных нужд регламентированы с выходом Федерального закона от 5.04.2013 №ФЗ-44 «О контрактной системе в сфере закупок товаров, работ, услуг для обеспечения государственных и муниципальных нужд» и Постановления Правительства Российской Федерации от 28.11.2013 № 1087 «Об определении случаев заключения контракта жизненного цикла», где сформированы только общие понятия по формату заключения соглашений или контрактов в данной сфере и определены основные положения.

Следует отметить, что в Российской Федерации в области перевозок заключаются контракты для подвижного состава в основном на различных этапах жизненного цикла, как правило, отдельно на изготовление тягового или подвижного состава и отдельно на сервисное техническое обслуживание и ремонт (далее – ТОиР) в рамках эксплуатационного этапа КЖЦ.

Заключение комплексного контракта на весь жизненный цикл, в частности, подвижного состава сопутствует с длительными предварительными этапами формирования ценовой политики и определения всевозможных рисков, как со стороны заказчика, так и со стороны исполнителя. Именно из-за значительного числа рисков необходимо заказчику пристально относиться к таким индикаторам надежности, как наработка на отказ, коэффициент технической готовности (далее – КТГ) вагона и

коэффициент готовности к эксплуатации (далее – КГЭ) локомотива, а также нахождение подвижного состава в нерабочем парке [1].

Основной задачей и целью реализации данной инициативы является совершенствование комплексного уровня управления надежностью и установления факторов риска подвижного состава при его эксплуатации. По мнению авторов статьи именно, проведение инженерного анализа рисков при формировании технического задания является залогом надежности выпускаемой продукции, а также надежной эксплуатации подвижного состава.

Вместе с тем, для реализации инженерно-факторного анализа необходимо сформулировать ряд основных направлений:

- эксплуатационные показатели надежности;
- КТГ вагона и КГЭ локомотива;
- показатели надежности элементов и узлов подвижного состава;
- нахождение подвижного состава в нерабочем парке;
- управление стоимостью жизненного цикла;
- взаимодействие со смежными и аутсорсинговыми компаниями при исполнении эксплуатационного этапа жизненного цикла подвижного состава.

Одна из моделей инженерного анализа рисков при эксплуатации подвижного состава представлен на рис. 1.

Существующие методики определения рисков на всех стадиях жизненного цикла объекта требуют постоянного совершенствования, так как с учетом развития и внедрения в них все более новых и сложных инженерных элементов, и средств диагностики возникают как новые системы

диагностирования подвижного состава, так и новые риски в части корректности

работы считывающих коммуникационных устройств.

и

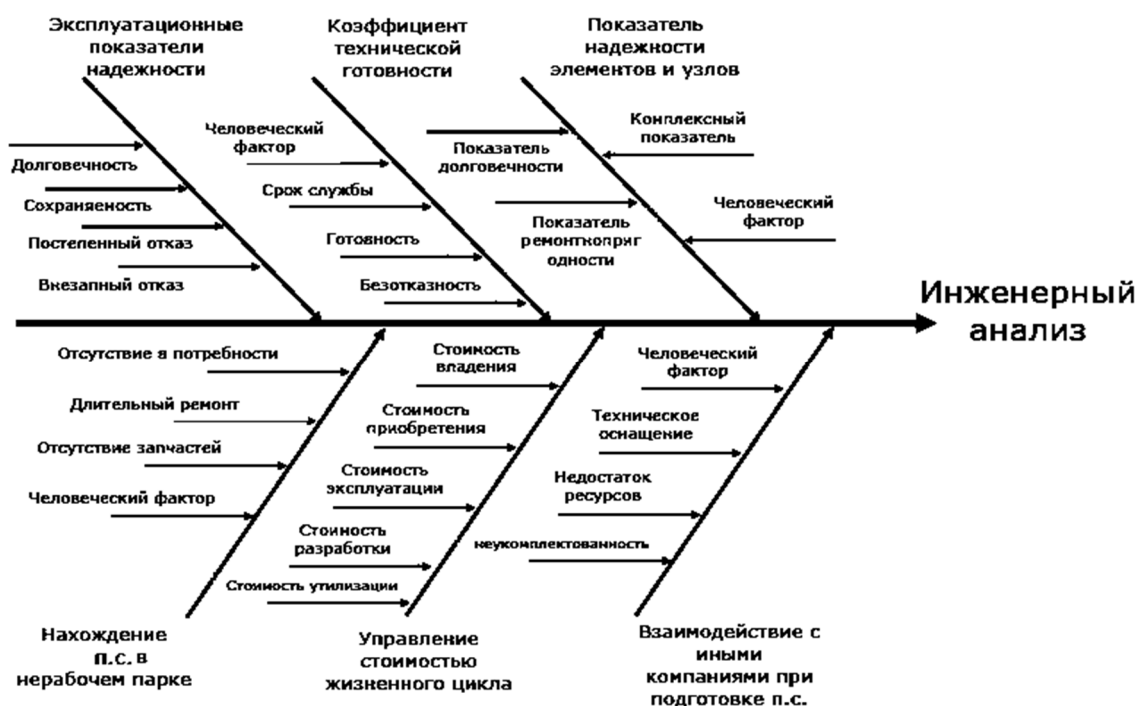


Рис. 1. Модель инженерного анализа основных рисков, возникающих в процессе эксплуатации подвижного состава

Fig. 1. Model of engineering analysis of the main risks arising during the operation of rolling stock

Вместе с тем внедрение новых сложных систем диагностирования являются потенциальными возможностями совершенствования и экономии объекта в период его эксплуатации, а также являются возможным переходом к новой системе технического обслуживания и ремонта – совмещение элементов планово-предупредительного ремонта с ремонтом отдельных элементов по техническому состоянию.

При проведении промежуточного этапа рассмотрения инженерного анализа следует выделить основные его цели:

- ориентированность на оценку возникающих рисков на всех стадиях жизненного цикла объекта;
- эффективность внедрения дополнительных сложных инженерных систем;
- экономическая эффективность на каждом этапе жизненного цикла объекта;
- взаимодействие с причастными организациями на всех стадиях жизненного цикла объекта.

Вместе с реализацией данных инициатив, накапливаемый объем данных, по результатам анализа проведенного технического обслуживания и ремонта пассажирского подвижного состава: формируется его «цифровой клон», что в свою очередь становится его «цифровым двойником». Который включает в себя наполнение электронной базы технического состояния каждого подключенного в данную систему элемента пассажирского подвижного состава, а также результатов замены его узлов и деталей в период эксплуатации и ремонта.

Формирование данной базы позволяет на основе анализа данных определять вероятность выхода из строя элементов, характерных для определенных моделей подвижного состава, интенсивность его эксплуатации в различных климатических условиях и, по результатам наполнения базы информацией, в автоматическом режиме прогнозировать необходимость замены запасных частей и материалов для проведения планового и внепланового

технического обслуживания и ремонта каждой единицы подвижного состава на кратко и долгосрочный период.

Данная система позволит оценить остаточный ресурс элементов подвижного состава, что, в свою очередь, является залогом перехода ремонта подвижного состава от планово-предупредительного к гибридному методу, подразумевающему замену или ремонт отдельных его элементов не по рекомендованному изготовителем

сроку или ресурсу, а по фактическому состоянию.

Для формирования «цифрового двойника» пассажирского подвижного состава на первом этапе реализуется взаимодействие автоматизированных систем АСУ ПВ, АСОУП, АСУ ДЕПО, АНКР, ИСС, АСУФР для вагонов, АСУЖТ: АСОУП-3, АСУТ, ЭПЛ ПКБ ЦТ, КАСАНТ, АСУ НБД, АСУСГ и др. для локомотивов (рис. 2) [2-4].

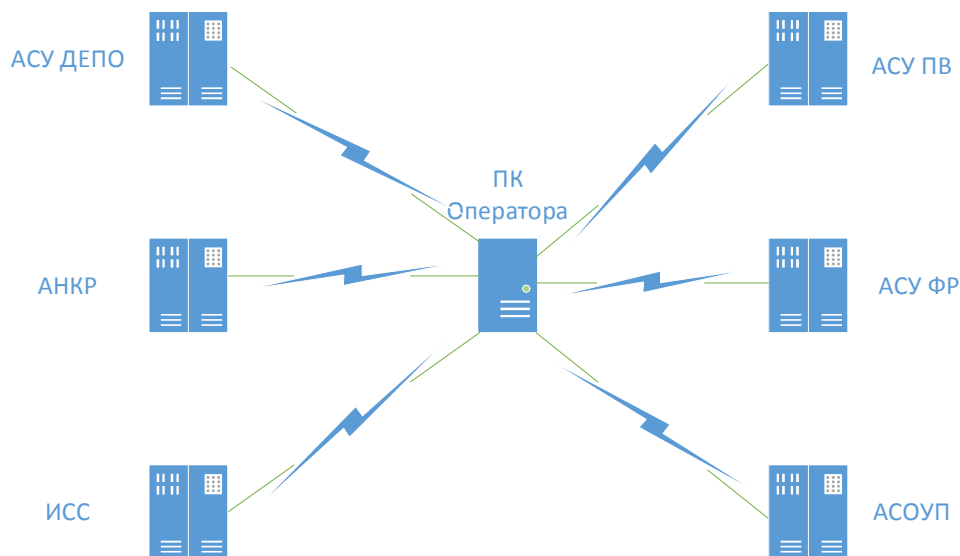


Рис. 2. Взаимодействие систем для накопления данных «цифрового двойника пассажирского вагона»
Fig. 2. Interaction of systems for data accumulation of the "digital twin of the passenger car"

Далее рассмотрим на примере тягового и не тягового подвижного состава второго этапа реализации:

1. Для вагонов – вторым этапом осуществляется увязка таких систем, как комплекс СКАТ с увязкой систем КТСМ, КТИ, а также с системами СКДУ вагонов (рис. 3) [5].

2. Для локомотивов – вторым этапом осуществляется увязка таких источников информации, как КЛУБ-У, САУТ, ТСКБМ с увязкой системы МСУД (рис. 4).

В результате данных интеграций возможно получение следующих аналитических данных подвижного состава:

- ведение мониторинга в онлайн режиме состояния объекта (контроль заявленной надежности подвижного

состава в соответствии с руководством по эксплуатации и по ремонту) [5-11].

- оперативная оценка рисков выхода из строя элементов подвижного состава (аналитика по отказам/ инцидентам);

- оперативный анализ остаточного ресурса подвижного состава (просмотр информации по пробегу, календарный срок проведения ремонта, просмотр информации по истории замечаний/ результатов диагностики, просмотр информации по актуальным не устраненным замечаниям, консолидация показателей жизненного цикла изделия (стоимость, сроки, трудоемкость и т.п.);

- учет наработки подвижного состава на отказ (просмотр информации по наработке узлов оборудования, измеряемым техническим параметрам и их истории изменений, просмотр информации

по отказам подвижного состава и/ или его узлов и оборудования);

- автоматическое формирование КТГ вагона и КГЭ локомотива;
- выполнение линейного графика технического обслуживания и ремонта

подвижного состава (контроль за выполнением периодичности регламентных работ, при всех видах ТОиР изделия).

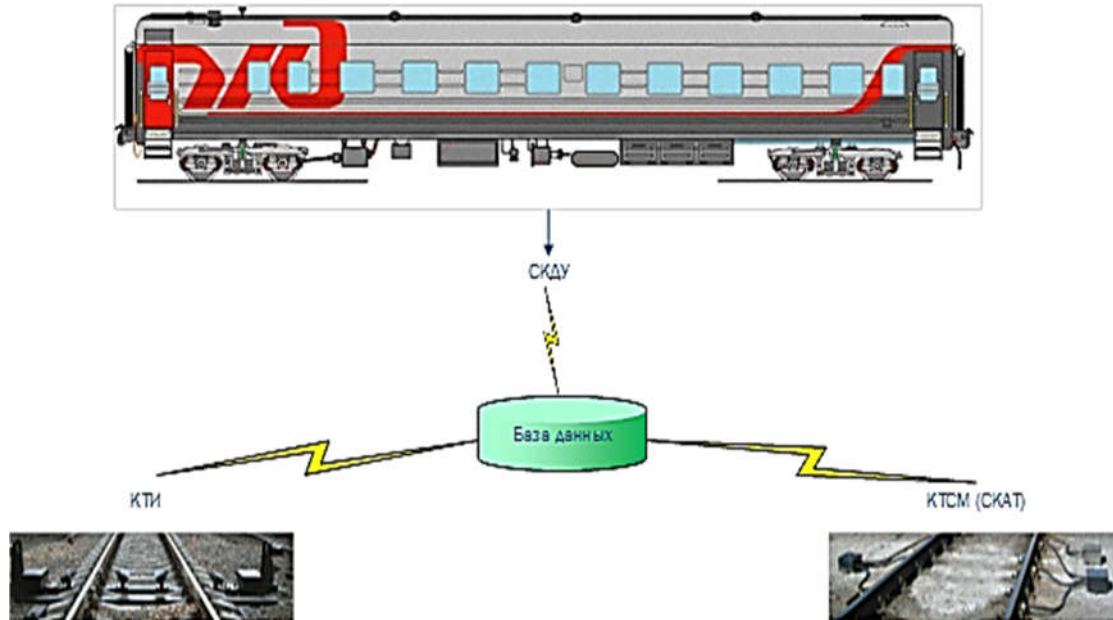


Рис. 3. Передача данных от диагностических систем в базу данных «цифрового вагона»
Fig. 3. Data transfer from diagnostic systems to the digital wagon database

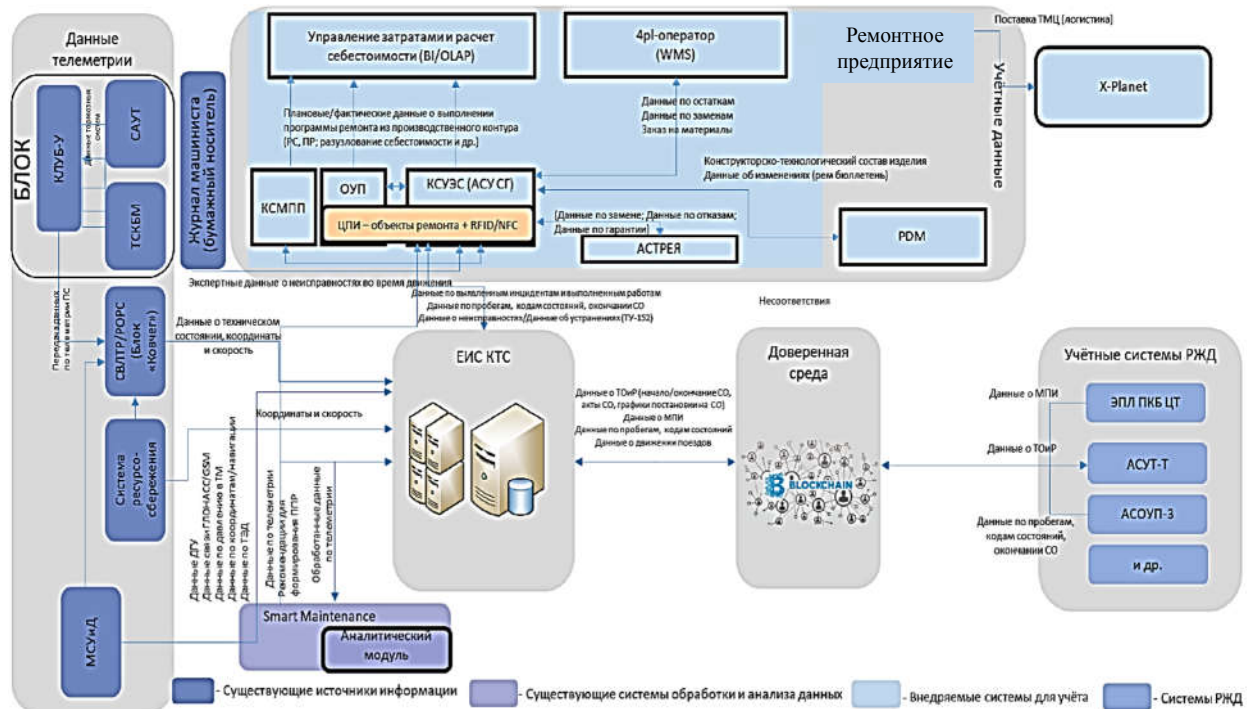


Рис. 4. Функциональная архитектура автоматизированных систем управления локомотивом
Fig. 4. Functional architecture of automated locomotive control systems

Факторный анализ позволяет определить скрытые факторы и установить истинные причины неисправности подвижного состава, а также долю влияния той или иной неисправности на работу подвижного состава в целом.

Факторный анализ включает в себя следующие этапы:

- получение и обработка информации с первичных источников;
- сбор (консолидация) анализируемых данных, содержащих (в т.ч. за счет интеграционных механизмов с различными автоматизированными системами) комплексный структурированный набор – создаваемых на всем жизненном цикле подвижного состава).
- установление контролируемых факторов определения технических неисправностей подвижного состава;
- построение факторной модели;
- обработка и интерпретация результатов.

Процесс факторного анализа включает в себя следующие шаги:

1. Сбор данных: сначала необходимо собрать данные о технических неисправностях подвижного состава. Это могут быть различные параметры неисправностей, такие как виды неисправностей, частота их возникновения, длительность их воздействия и т.д. [12].

2. Выбор факторов: затем необходимо определить список потенциальных факторов, которые могут влиять на возникновение технических неисправностей. Это могут быть такие факторы, как климатические условия, режим работы, состояние оборудования и другие.

3. Построение модели: далее следует построить модель факторного анализа, которая позволит выявить скрытые факторы, объясняющие вариации в данных о неисправностях. Это может быть сделано с помощью различных статистических методов, таких как метод главных компонент или метод максимального правдоподобия.

4. Интерпретация результатов: после проведения факторного анализа можно проанализировать результаты и определить основные факторы, которые вли-

яют на технические неисправности. Это может помочь в принятии решений по улучшению подвижного состава и предотвращению возникновения неисправностей.

Факторный анализ может быть полезным инструментом для идентификации причин технических неисправностей подвижного состава и определения наиболее эффективных мер по их устранению. Он позволяет выявить скрытые факторы, которые могут быть сложными для обнаружения с помощью простого анализа данных.

С целью получения дополнительных данных об окружающем воздействии на подвижной состав предложена и использована методика PEST-анализа внешних факторов в области диагностирования и мониторинга подвижного состава, при котором раскрыты возможности и угрозы, а также проведена их оценка с точки зрения важности и степени влияния на развитие.

При PEST-анализе политические факторы рассмотрены для того, чтобы иметь ясное представление о степени влияния политических решений и планов на вектор развития рассматриваемой области сервисной и ремонтной Компании (далее – Компания), которая достаточно тесно взаимодействует со всеми уровнями государственной власти. Изучение политического фактора сконцентрировано на исследовании степени влияния на бизнес-блоки Компании: долгосрочных государственных решений в части финансирования развития железнодорожного транспорта, государственного регулирования и поддержки уровня развития нормативной правовой базы, курса внешней политики и отношений с иностранными государствами, изменений законодательства в области государственного регулирования и налоговой политики Российской Федерации.

ОАО «РЖД» является крупнейшим владельцем инфраструктуры общего пользования и перевозчиком в стране, кроме того, вклад Компаний и всех предприятий кооперации в ВВП России более 5,0 %. По этой причине особое внимание

уделено изучению экономических факторов влияния по ряду показателей: макроэкономическая ситуация в стране, санкционная политика, динамика цен на высокотехнологичную продукцию, цифровизация [13]. При изучении экономических факторов приоритет отдан таким показателям, как занимаемая позиция в банковской сфере Российской Федерации, инвестиционный потенциал, уровень конкуренции на рынке предоставляемых услуг и объемы финансирования отрасли.

Анализ влияния технологических факторов макросреды позволит своевременно сформировать платформу, стартовую площадку для реализации технологического прорыва. В PEST-анализ включены следующие по-

казатели: «Цифровые технологии», уровень внедрения и использования современных научно-технических разработок, кибербезопасность, поддержка фундаментальных и поисковых научно-исследовательских работ. Мировая тенденция к объединению цифрового пространства с физическим миром в единую киберфизическую систему формирует перед отраслью новые вызовы и соответствующие риски, которые крайне необходимо учитывать в долгосрочной перспективе.

Для удобства восприятия итоги анализа внешней среды транспортных компаний в рассматриваемой области сведены в матрицу – влияния факторов внешней среды, приведенную в таблице.

Таблица

Матрица результатов PEST-анализа

Table

The matrix of PEST analysis results

Вид фактора	Описание фактора	Значимость фактора, вес 1-3 (баллы)	Оценка влияния фактора, «+»/ «-»	Влияние фактора на стратегию предприятия (3×4)
Политический	1. Нестабильность политической обстановки в стране ведет к дестабилизации экономики.	3	-	-3
	2. Ужесточение законодательства в атомной сфере.	2	+	+2
	3. Увеличение доли производителей с иностранным участием.	1	-	-1
	4. Текущее законодательство, регулирующее правила работы в отрасли.	2	-	-2
Экономический	1. Общая характеристика экономической ситуации (кризис) в стране, отрасли, смежных отраслях.	3	-	-3
	2. Возможный риск дефолта.	3	-	-3
	3. Рост уровня инфляции.	3	-	-3

Продолжение таблицы
Continuation of the table

Вид фактора	Описание фактора	Значимость фактора, вес 1-3 (баллы)	Оценка влияния фактора, «+»/ «-»	Влияние фактора на стратегию предприятия (3×4)
Социально-культурный	1. Отношение к экономии энергоресурсов.	2	+	+2
	2. Уровень миграции.	1	-	-1
	3. Темпы роста населения.	1	+	+1
Технологический	1. Новые технологии производства.	3	+	+3
	2. Влияние технологической среды на рынок.	2	+	+2
	3. Усовершенствование программ, отвечающих за безопасность информации.	2	+	+2
			$\Sigma(+)$	16
			$\Sigma(-)$	14

Выводы

Разработанная и рассмотренная модели инженерного и факторного анализа основных рисков, возникающих в эксплуатации подвижного состава, позволит сформировать концептуальную модель перехода используемых моделей пассажирских вагонов в их структурированные «цифровые двойники».

Реализация концепции «цифровой двойник» пассажирского подвижного состава позволяет реализовать в онлайн режиме прогнозирования времени вероятного выхода из строя его использования и управлением его основными ресурсами, себестоимостью и отвлечением в нерабочем парке.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Указание МПС РФ от 23.12.1997 г. № В-1465у «Об установлении норм простоя пассажирских вагонов при техническом обслуживании, депо-вом и капитальном ремонтах» <https://company.rzd.ru/api/media/resources/c/53/595/369922?action=download&ysclid=lcxfe0qm6i940432573> (дата обращения 15.01.2023 г.).
2. Автоматизированная система АСУ «Экспресс-3» <http://www.express-2.ru/express-3/text.htm> (дата обращения 16.01.2023 г.).
3. Автоматизированная система управления тяговыми ресурсами АСУТ <https://dvizhenie24.ru/railway/programmnye-kompleksy-asut-gid-ural-vniizht-asu-ekspress/> (дата обращения 16.01.2023г.).
4. Автоматизированный банк данных грузовых вагонов <http://www.rzd-expo.ru/innovation/sovremennye-informatsionnye-tehnologii-na-zheleznodorozhnom-transporte/avtomatizirovannyi-bank-dannykh-parka-vagonov-abd-pv/> (дата обращения 16.01.2023 г.).
5. Вагоны пассажирские. Руководство по капитальному ремонту (КР-1), ЛВ1.0031 РК.
6. Вагоны пассажирские цельнометаллические. Руководство по капитальному ремонту (КР-2), ЛВ1.0030 РК.
7. Вагоны пассажирские. Руководство по депо-вому ремонту (ДР), ЛВ 1.0027 РК.
8. Вагоны пассажирские. Руководство по техническому обслуживанию и текущему ремонту. ЛВ 1.0005 РЭ.

9. Биргер И. А. Техническая диагностика. – М.: Машиностроение, 1978. – 240 с.
10. Воинов К.Н. Надежность вагонов. - М.: Транспорт, 1980. – 110 с.
11. Соколов М.М. Диагностирование вагонов. М.: Транспорт 1990. 197с.
12. Федеральный закон "Об обеспечении единства измерений" от 26.06.2008 № 102-ФЗ.

REFERENCES

1. Instruction of The Ministry of Railways of the Russian Federation No. B-1465y On the establishment of standards for passenger car downtime during maintenance, depot and major repairs [Internet]. 1997 Dec 23 [cited 2023 Jan 15]. Available from: <https://company.rzd.ru/api/media/resources/c/53/595/369922?action=download&ysclid=lcxfe0qm6i940432573>.
2. Automated control system Express-3. [cited 2023 Jan 16]. Available from: <http://www.express-2.ru/express-3/text>.
3. Automated system for managing the power resources of the automated control system [cited 2023 Jan 16]. Available from: <https://dvizhenie24.ru/railway/programmnye-kompleksy-asut-gid-ural-vniizht-asu-ekspress/>
4. Automated data bank of freight cars [cited 2023 Jan 16]. Available from: <http://www.rzd-expo.ru/innovation/sovremennye-informatsionnye-tehnologii-na-zheleznodorozhnom-transporte/avtomatizirovannyi-bank-dannykh-parka-vagonov-abd-pv/>
5. Passenger cars. Manual for capital repairs (KR-1), LV1.0031 RK.

- https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_77904/ (дата обращения 16.01.2023 г.).
13. Распоряжение Правительства Российской Федерации от 19 марта 2019 № 466-р «Об утверждении долгосрочной программы развития ОАО «Российские железные дороги» до 2025 года» <http://government.ru/docs/36094/> (дата обращения 15.01.2023 г.).

6. All-metal passenger cars. Manual for capital repairs (KR-2), LV1.0030 RK.
7. Passenger cars. Depot repair manual (DR), LV 1.0027 RK.
8. Passenger cars. Maintenance manual. LV 1.0005 RE.
9. Birger IA. Technical diagnostics. Moscow: Mashinostroenie; 1978.
10. Voinov KN. Reliability of cars. Moscow: Transport; 1980.
11. Sokolov MM. Diagnostics of cars. Moscow: Transport; 1990.
12. Federal law on ensuring the uniformity of measurements No. 102-FZ; 2008 Jun 06 [cited 2023 Jan 16]. Available from: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_77904/
13. Decree of the government of the Russian Federation No. 466-r On Approval of the Long-term Development Program of JSC Russian Railways until 2025; 2019 March 19 [cited 2023 Jan 15]. Available from: <http://government.ru/docs/36094/>

Информация об авторах:

Шинкарук Андрей Сергеевич – кандидат технических наук, Российский Университет транспорта (МИИТ), Новосущевская ул. 22, ст. 1, Москва, 127055, Российская Федерация, Институт транспортной техники и систем управления. Тел.: +7(925)804-44-95. E-mail: Shinkarukas@mail.ru.

Рафиков Рафик Хайдарович – кандидат технических наук, Российский Университет транспорта (МИИТ), Новосущевская ул. 22, ст. 1, Москва, 127055, Российская Федерация, Институт транспортной техники и систем управления. Тел.: +7(920)127-65-42. E-mail: rafis-89@mail.ru.

Евсеев Дмитрий Геннадьевич – доктор технических наук, Российский Университет транспорта (МИИТ), Новосущевская ул. 22, ст. 1,

Shinkaruk Andrey Sergeevich – Candidate of Technical Sciences, Institute of Transport Engineering and Control Systems, Russian University of Transport (MIIT), 22, Novosushchevskaya Str., 1, Moscow, 127055, Russian Federation; phone: +7(925)804-44-95. E-mail: Shinkarukas@mail.ru.

Москва, 127055, Российская Федерация, Институт транспортной техники и систем управления. Тел.: +7(985)769-60-78. E-mail: evseevdbg@gmail.com.

Куликов Михаил Юрьевич – доктор технических наук, Российский Университет транспорта (МИИТ), Новосущевская ул. 22, ст. 1, Москва, 127055, Российская Федерация, Институт транспортной техники и систем управления. Тел.: +7(964)578-56-89. E-mail: muk.56@mail.ru.

Горюнов Никита Александрович – аспирант, Российский Университет транспорта (МИИТ), Новосущевская ул. 22, ст. 1, Москва, 127055, Российская Федерация, Институт транспортной техники и систем управления. Тел.: +7(964)578-56-89. E-mail: nikolay2gor@yandex.ru.

Rafikov Rafik Haidarovich – Candidate of Technical Sciences, Institute of Transport Engineering and Control Systems, Russian University of Transport (MIIT), 22, Novosushchevskaya Str., 1, Moscow, 127055, Russian Federation; phone: +7(920)127-65-42. E-mail: rafis-89@mail.ru.

Evseev Dmitry Gennadievich – Doctor of Technical Sciences, Institute of Transport Engineering and Control Systems, Russian University of Transport (MIIT), 22, Novosushchevskaya Str., 1, Moscow, 127055, Russian Federation; phone: +7(985)769-60-78. E-mail: evseev dg@gmail.com.

Kulikov Mikhail Yurievich – Doctor of Technical Sciences, Institute of Transport Engineering and Control Systems, Russian University of Transport (MIIT), 22, Novosushchevskaya Str., 1, Moscow,

127055, Russian Federation; phone: +7(964)578-56-89. E-mail: muk.56@mail.ru.

Goryunov Nikita Aleksandrovich – Postgraduate Student, Institute of Transport Engineering and Control Systems, Russian University of Transport (MIIT). 22, Novosushchevskaya Str., 1, Moscow, 127055, Russian Federation; phone: +7(964)578-56-89. E-mail: nikolay2gor@yandex.ru.

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 30.11.2023; одобрена после рецензирования 18.12.2023; принята к публикации 27.02.2024. 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 30.11.2023; approved after review on 18.12.2023; accepted for publication on 27.02.2024. 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*.