

СПЕЦИАЛЬНЫЙ ПОДВИЖНОЙ СОСТАВ КАК ОБЪЕКТ РЕМОНТА

*Локтев А.А., Королев В.В., Шишкина И.В.
Российский университет транспорта, Москва*

Ключевые слова: надёжность, долговечность, путевая машина, отказ, качество, ремонтпригодность.

Аннотация. В статье анализируются вопросы надежности и долговечности специального подвижного состава, в частности путевых машин, как ключевых объектов ремонта в железнодорожном хозяйстве. Подчеркивается роль качественных характеристик (функциональность, технические параметры, внешний вид, экономическая эффективность) в оценке техники. Рассматриваются динамические изменения свойств машин во время эксплуатации, приводящие к снижению качества и переходу в неисправное состояние. Особое внимание уделяется математической теории надежности для изучения закономерностей отказов путевой техники, включая взаимосвязи между компонентами машины, понятие технического ресурса и момент отказа. На основе анализа предлагаются меры по повышению надежности: увеличение долговечности последовательно соединенных элементов и внедрение параллельных структур (пример на логической модели дизель-молота). Даются определения ключевых терминов («качество», «надежность», «долговечность», «отказ») и графическое представление отказа как функции времени под влиянием факторов (износ, ошибки конструкции, внешняя среда). Выводы подчеркивают необходимость комплексного подхода к ремонту и обслуживанию для минимизации простоев и затрат, что актуально для оптимизации эксплуатации путевых машин в условиях технического прогресса. Научная новизна работы заключается в системном моделировании отказов для путевых машин, учитывающем как внутренние связи агрегатов, так и внешние эксплуатационные факторы. Предлагаемые принципы применимы для формирования стратегий технического обслуживания и разработки новых, более надежных конструкций специального подвижного состава.

SPECIAL ROLLING STOCK AS A REPAIR FACILITY

*Loktev A.A., Korolev V.V., Shishkina I.V.
Russian University of Transport, Moscow*

Keywords: reliability, durability, track machine, failure, quality, repairability.

Abstract. The article examines issues of reliability and durability of special rolling stock, particularly track machines, as primary repair facilities in railway infrastructure. It emphasizes the role of quality characteristics (functionality, technical parameters, appearance, economic efficiency) in machine evaluation. The dynamics of property changes during operation, leading to quality degradation and transition to a faulty state, are analyzed. Special attention is given to the mathematical theory of reliability for studying failure patterns in track equipment, including interrelationships among machine components, the concept of technical resource, and failure moment. Based on the analysis, measures to enhance reliability are proposed: increasing durability of sequentially connected elements and implementing parallel structures (exemplified by a logical model of a diesel hammer). Key terms («quality», «reliability», «durability», «failure») are defined, with a graphical representation of failure as a time-dependent function influenced by factors (wear and tear, design errors, external environment). Conclusions highlight the need for a comprehensive repair and maintenance approach to minimize downtime and costs, which is relevant for optimizing track machine operations amid technological advancements. The scientific novelty of the work lies in the systematic modeling of failures for track machines, which takes into account both the internal connections of the units and external operational factors. The proposed principles are applicable for forming maintenance strategies and developing new, more reliable designs of special rolling stock.

Введение. Любая специализированная рельсовая техника (путевая машина) представляет собой, в первую очередь, материальный объект, предназначенный для решения конкретной задачи. Это может быть производство продукции, перемещение грузов, оптимизация расхода материалов и т.д. Особенностью такой техники является ряд характеристик, включающих функциональность, технические параметры, внешний вид, экономическую эффективность и другие аспекты, совокупность которых определяет качество машины.

Материалы и методы исследования. В процессе эксплуатации свойства путевой машины, определяющие её качество, подвергаются изменениям, чаще всего нежелательным. В результате отдельные качественные характеристики постепенно или резко снижаются до

критического уровня. В определенный момент жизненного цикла техника переходит из рабочего состояния в неисправное. Это влечет за собой прекращение её использования, необходимость восстановления (ремонта) утраченных качеств или отправку на утилизацию. Математическая теория надежности играет важную роль в изучении закономерностей отказов путевой техники [1, 2].

Каждая путевая машина, как сложная техническая система, состоящая из множества компонентов (деталей, узлов), характеризуется определенной взаимосвязью между ними. Эта связь определяет функциональность техники в целом. Общая функция складывается из частных функций отдельных элементов, каждая из которых должна выполняться в пределах допустимых отклонений от общей функции [3].

После изготовления каждый элемент путевой машины обладает определенным запасом прочности, или, как принято говорить, техническим ресурсом. Во время работы техники элементы выполняют свои задачи и одновременно расходуют этот ресурс под воздействием различных факторов. В течение жизненного цикла обязательно наступает момент, когда происходит нарушение работы элемента, что является границей между двумя несовместимыми состояниями: рабочим и нерабочим. Этот момент называется отказом и характеризует достижение критического уровня качества. Критическим считается уровень, при котором элемент по определенному признаку становится непригодным для использования. Например, предельным значением зазора для сопряжения деталей или определенной долей удерживаемых фильтром вредных частиц [4].

Ранее используемый на железных дорогах путевой инструмент отличался низкой производительностью, но продолжительным сроком службы. Технический прогресс второй половины XX века привел к появлению более эффективных, но сложных путевых машин. Они, как правило, состоят из более простых элементов с достаточным техническим ресурсом. Однако общий срок службы такой техники часто остается недостаточным. Это связано с тем, что любая машина, требующая одновременной работы всех компонентов, менее долговечна, чем любой из её элементов. Если не предпринимаются специальные меры по повышению износостойкости деталей, долговечность техники уменьшается по мере её усложнения, а затраты на ремонт возрастают.

Основная проблема современных путевых машин заключается в том, что чем сложнее и точнее техника, тем меньше время её безотказной работы при прочих равных условиях. Одной из причин этого является то, что рост сроков службы отдельных деталей отстает от роста их количества в одной машине [5].

Поэтому особое внимание уделяется таким свойствам техники, как: 1) способность выполнять свою функцию без перехода в нерабочее состояние и 2) неспособность выполнять эту функцию в течение заданного времени. Опыт показывает, что эти свойства влияют на экономическую эффективность, временные затраты, психологический комфорт и в определенных случаях на безопасность людей.

К сожалению, не существует способа обеспечить безотказную работу машины на одном и том же уровне неограниченно долго. Невозможно ожидать, что качественные характеристики техники будут сохраняться бесконечно под воздействием операторов, окружающей среды, возможностей производства и других факторов. Поэтому в течение срока службы техники необходимо проводить периодический ремонт, требующий значительных усилий и времени.

В связи с этим важно свойство, называемое ремонтпригодностью, которое отражает способность техники к предотвращению, обнаружению и устранению неисправностей. Для измерения ремонтпригодности используются трудозатраты и ресурсы, выраженные в денежном эквиваленте, либо время, необходимое для восстановления работоспособности [6].

Способность техники сохранять свою функцию и другие качественные характеристики зависит от надежной конструкции и функциональных факторов, таких как нагрузки и свойства материалов. По способу соединения элементов выделяют последовательную и параллельную структуры надежности [7]. На рисунке 1 представлена логическая модель цепи

надежности дизель-молота, где элементы соединены последовательно. Эта структура состоит из трех элементов: подачи топлива, сжатия и нагрева воздуха, распыления топлива. Выходной функцией этой системы является самовоспламенение и сгорание топлива.

Анализ показывает, что дизель-молот выполнит свою работу, если все элементы находятся в исправном состоянии, то есть насос и топливопроводы исправны, а сферы поршня-шабота и поршня-ударника не повреждены. Для сжатия и нагрева воздуха до нужной температуры необходимо установить уплотнительные кольца на поршень-ударник и поршень-шабот.

Необходимое сжатие воздуха можно обеспечить и с одним кольцом на каждом поршне, но в этом случае долговечность молота снизится, так как оно быстро изнашивается, и качество работы падает до критического уровня.

Существуют два основных пути повышения надежности путевых машин. Первый – увеличение долговечности последовательно соединенных элементов. Второй – создание параллельной структуры, в которой при отказе одного элемента его функцию может выполнить другой [8]. Примером параллельной системы являются компрессионные кольца поршня-ударника и поршня-шабота. Структура, представленная на рисунке 1, обладает свойствами как параллельного, так и последовательного соединения элементов.

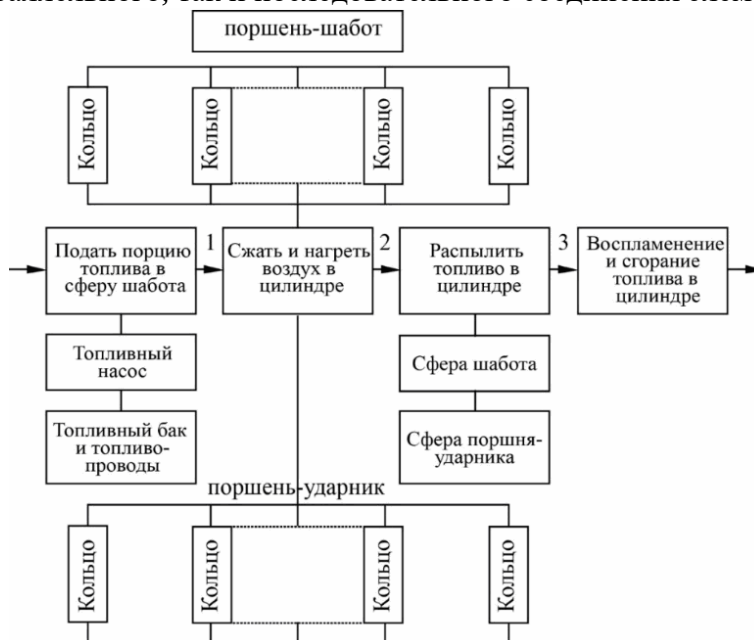


Рис. 1. Логическая цепь надежности выполнения частной рабочей функции дизель-молота

Для изучения надежности путевых машин важно правильно определять и интерпретировать термины «качество» и «отказ».

Качество изделия (путевой машины) – это совокупность свойств, определяющих его способность удовлетворять определенные потребности в соответствии с его назначением (ГОСТ 15467-79).

Показатель качества – количественная характеристика свойств изделия, рассматриваемая в определенных условиях его создания и эксплуатации.

Надежность – это свойство объекта сохранять способность к выполнению заданных функций в заданных режимах и условиях (ГОСТ Р 27.102-2021). Иными словами, надежность – это способность машины сохранять все другие качественные свойства в течение времени.

Долговечность – способность элемента (путевой машины) сохранять работоспособность до предельного состояния с перерывами на обслуживание и ремонт.

Надежность – это показатель, который нельзя измерить напрямую, подобно характеристикам или физическим параметрам техники. Однако надежность можно выразить количественно. Контроль качества заключается в измерении характеристик независимо от времени, а контроль надежности – это измерение качества как функции времени.

При изучении состояния техники (её элементов) всегда можно отнести её к годной (работоспособной) или негодной, исправной или неисправной. Между этими двумя состояниями нет промежуточных вариантов.

Использование этих терминов теряет смысл, если не предъявляется требование несовместимости двух указанных качественных состояний.

Для оценки состояния техники используется термин «отказ», обозначающий нарушение работоспособного состояния машины (ГОСТ Р 27.102-2021). «Отказ» является фундаментальным понятием в теории надежности и качества, в теории ремонта и технического обслуживания.

Важно, что с возникновением отказа техника переходит из рабочего состояния в нерабочее. Отказ – это переход элемента в критическое состояние по какому-либо критерию: функциональному, эксплуатационному, безопасности и т.п. [9].

Многие качественные свойства техники могут изменяться со временем. Например, рабочие параметры двигателя: расход смазки, расход топлива, под действием износа деталей происходит монотонно. Момент, когда расход топлива превысит допустимый, является критическим уровнем качества, а двигатель – негодным. Это значение соответствует моменту отказа двигателя [10].

На рисунке 2 показано графическое представление отказа при изменении качественных свойств элемента. Время наступления отказа зависит от наклона кривых и от положения критического уровня качества. Следовательно, срок службы до отказа является условным, так как состояние «неисправность» зависит от значения рабочего параметра. Такой «отказ» может быть условной границей, указывающей на нецелесообразность дальнейшего использования техники из-за малой эффективности или большой опасности.

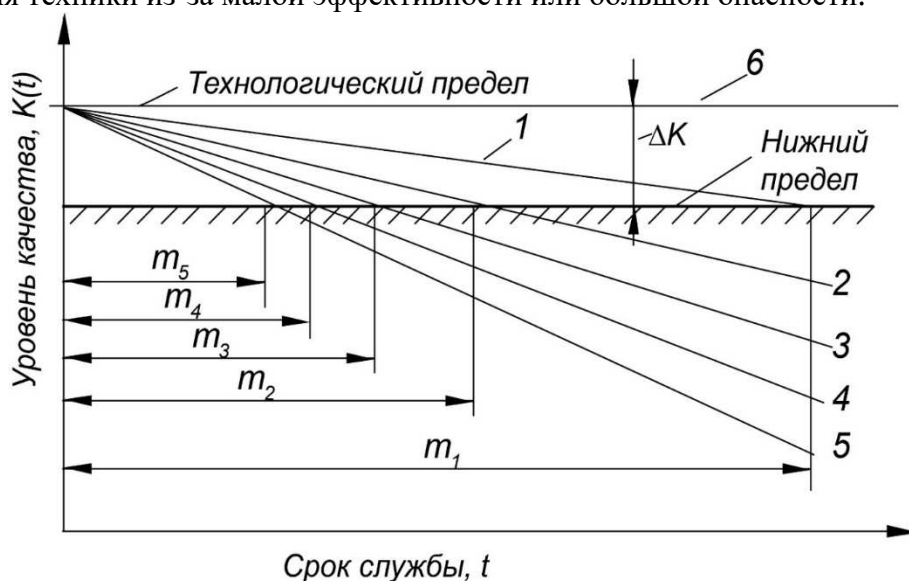


Рис. 2. Гипотететические графики изменения уровня качества и срока жизненного цикла элемента при действии факторов: 1 – старения и естественного износа; 2 – ошибок конструирования; 3 – ошибок технологии изготовления; 4 – ошибок управления; 5 – колебаний свойств физической среды; 6 – при отсутствии действия негативных факторов качества; ΔK – допуск (запас качества) на возможное снижение качества; $m_1, m_2, \dots, m_5$ – сроки службы элемента до момента появления отказа при действии факторов 1, 2, ..., 5

Мерой качественного уровня может быть не только эффективность или безопасность, но и способность функционировать. Критическим уровнем качества по этому признаку является «ноль» функции машины. Это означает, что техника становится неспособной выполнять работу. Например, если в цепи операций (рис. 1) не будет выполнена одна операция, дизель-молот остановится. Поломка клапана, обрыв топливопровода парализуют работу двигателя. Появление отказа элемента свидетельствует о том, что его ресурс исчерпан. Для дальнейшего использования техники необходимо устранить причины отказа,

восстановив функциональные свойства и ресурс. Это требует времени, труда, энергии и материалов. Таким образом, надежность, ремонтпригодность, результативность и эффективность техники зависят от такого фактора, как отказ.

Выводы. Проведенный анализ позволяет сделать вывод о том, что надежность и долговечность путевых машин являются ключевыми факторами, определяющими их экономическую эффективность и безопасность эксплуатации. Установлено, что сложность и точность современной путевой техники предъявляют повышенные требования к надежности ее компонентов. Выявлены основные пути повышения надежности, включающие увеличение долговечности элементов и создание параллельных структур. Подчеркнута важность правильного определения и интерпретации терминов «качество» и «отказ» для адекватной оценки состояния техники и принятия решений о ее ремонте и обслуживании.

Заключение. Результаты исследования могут быть использованы при разработке новых моделей путевых машин, а также при планировании и проведении мероприятий по техническому обслуживанию и ремонту существующего парка техники. Дальнейшие исследования могут быть направлены на разработку методов прогнозирования отказов и оптимизацию стратегий технического обслуживания, что позволит повысить эффективность использования путевых машин и снизить затраты на их эксплуатацию.

Список литературы

1. Локтев А.А., Королев В.В., Шишкина И.В. Проблемы путевых машин на железнодорожном транспорте // Автоматизированное проектирование в машиностроении. – 2024. – №17. – С. 21-29. – doi.org/10.26160/2309-8864-2024-17-21-29.
2. Локтев А.А., Королев В.В., Шишкина И.В. Количественные характеристики надежности специального железнодорожного подвижного состава // Автоматизированное проектирование в машиностроении. – 2025. – №19. – С. 5-11. – doi.org/10.26160/2309-8864-2025-19-5-11.
3. Галдин Н.С., Семенова И.А. Разработка методики расчета свабойных гидромолотов, работающих в качестве сменного рабочего оборудования экскаваторов // Транспортное, горное и строительное машиностроение: наука и производство. – 2025. – №35. – С. 34-38. – DOI: 10.26160/2658-3305-2025-35-34-38.
4. Трофименко Б.П., Маркелов А.В., Корытов А.С. Анализ причин низкой эксплуатационной надежности строительных и дорожных машин // Транспортное, горное и строительное машиностроение: наука и производство. – 2024. – №28. – С. 66-71. – DOI: 10.26160/2658-3305-2024-28-66-71.
5. Непомнящих Е.В., Ильиных В.А., Линейцев В.Ю. Исследование многогранных профильных соединений деталей машин // Транспортное, горное и строительное машиностроение: наука и производство. – 2024. – №27. – С. 31-38. – DOI: 10.26160/2658-3305-2024-27-31-38.
6. Стахин Д.Р., Плотноков Д.Г., Соломатов М.Г. Управление рисками эксплуатации подъемно-транспортного оборудования на основе решения NP-полной задачи комбинаторной оптимизации // Транспортное, горное и строительное машиностроение: наука и производство. – 2024. – №26. – С. 47-53. – DOI: 10.26160/2658-3305-2024-26-47-53.
7. Шрон Л.Б., Богуцкий В.Б. Особенности применения размерного анализа при ремонте машин // Транспортное, горное и строительное машиностроение: наука и производство. – 2024. – №26. – С. 80-85. – DOI: 10.26160/2658-3305-2024-26-80-85.
8. Складорова А.А. Исследование влияния конструктивных параметров на область рационального применения машины горизонтально направленного бурения в заданной системе ограничений // Транспортное, горное и строительное машиностроение: наука и производство. – 2024. – №24. – С. 68-73. – DOI: 10.26160/2658-3305-2024-24-68-73.
9. Репин С.В., Зазыкин А.В., Евтюков С.А., Ховалыг Н.-Д.К., Максимов С.Е., Дружинин П.В. Метод планирования ремонтов транспортно-технологических машин строительства с учетом уровня надежности // Транспортное, горное и строительное машиностроение: наука и производство. – 2023. – №22. – С. 25-33. – DOI: 10.26160/2658-3305-2023-22-25-33.
10. Посметьев В.И., Никонов В.О. Оценка корректировки периодичности технического обслуживания передней подвески малотоннажных грузовых автомобилей по результатам компьютерного моделирования // Транспортное, горное и строительное машиностроение: наука и производство. – 2019. – №4. – С. 19-24. – DOI: 10.26160/2658-3305-2019-3-19-24.

References

1. Loktev A.A., Korolev V.V., Shishkina I.V. Problems of track machines in railway transport // Computer-aided design in mechanical engineering. 2024, no. 17, pp. 21-29. doi.org/10.26160/2309-8864-2024-17-21-29.

2. Loktev A.A., Korolev V.V., Shishkina I.V. Quantitative characteristics of the reliability of special railway rolling stock // Computer-aided design in mechanical engineering. 2025, no. 19, pp. 5-11. doi.org/10.26160/2309-8864-2025-19-5-11.
3. Galdin N.S., Semenova I.A. Development of a calculation method for pile-driving hydraulic hammers operating as interchangeable excavator equipment // Transport, Mining and Construction Engineering: Science and Production. 2025, no. 35, pp. 34-38. doi.org/10.26160/2658-3305-2025-35-34-38.
4. Trofimenko B.P., Markelov A.V., Korytov A.S. Analysis of the causes of low operational reliability of construction and road machines // Transport, Mining and Construction Engineering: Science and Production. 2024, no. 28, pp. 66-71. doi.org/10.26160/2658-3305-2024-28-66-71.
5. Nepomnyashchikh E.V., Ilyinykh V.A., Lineitsev V.Yu. Research of multifaceted profile connections of machine parts // Transport, Mining and Construction Engineering: Science and Production. 2024, no. 27, pp. 31-38. doi.org/10.26160/2658-3305-2024-27-31-38.
6. Stakhin D.R., Plotnikov D.G., Solomatov M.G. Risk management of lifting and transport equipment operation based on solving an NP-complete combinatorial optimization problem // Transport, Mining and Construction Engineering: Science and Production. 2024, no. 26, pp. 47-53. doi.org/10.26160/2658-3305-2024-26-47-53.
7. Shron L.B., Bogutsky V.B. Features of dimensional analysis application in machine repair // Transport, Mining and Construction Engineering: Science and Production. 2024, no. 26, pp. 80-85. doi.org/10.26160/2658-3305-2024-26-80-85.
8. Sklyarova A.A. Investigation of the influence of design parameters on the area of rational application of a horizontal directional drilling machine in a given system of constraints // Transport, Mining and Construction Engineering: Science and Production. 2024, no. 24, pp. 68-73. doi.org/10.26160/2658-3305-2024-24-68-73.
9. Repin S.V., Zazykin A.V., Evtyukov S.A., Khovalyg N.-D.K., Maksimov S.E., Druzhinin P.V. Method for planning repairs of construction transport and technological machines taking into account the reliability level // Transport, Mining and Construction Engineering: Science and Production. 2023, no. 22, pp. 25-33. doi.org/10.26160/2658-3305-2023-22-25-33.
10. Posmetiev V.I., Nikonov V.O. Assessment of adjusting the frequency of technical maintenance for light-duty truck front suspension based on computer simulation results // Transport, Mining and Construction Engineering: Science and Production. 2019, no. 4, pp. 19-24. doi.org/10.26160/2658-3305-2019-3-19-24.

Сведения об авторах:

Локтев Алексей Алексеевич – доктор физико-математических наук, профессор, заведующий кафедрой «Транспортное строительство»	Loktev Aleksey Alekseevich – doctor of physical and mathematical sciences, professor, head of the Department of «Transport construction»
Королев Вадим Вадимович – кандидат технических наук, доцент, заведующий лабораторией «Верхнее строение железнодорожного пути и путевое хозяйство» кафедры «Транспортное строительство»	Korolev Vadim Vadimovich – candidate of technical sciences, associate professor, head of the laboratory "Upper structure of railway track and track facilities" of the Department "Transport construction"
Шишкина Ирина Викторовна – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры «Транспортное строительство» shishkinaira@inbox.ru	Shishkina Irina Viktorovna – candidate of technical sciences, associate professor, associate professor of the Department of «Transport construction»

Information about authors:

Получена 09.02.2026