

АНАЛИЗ ПРИЧИН НИЗКОЙ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ НАДЕЖНОСТИ СТРОИТЕЛЬНЫХ И ДОРОЖНЫХ МАШИН

Трофименко Б.П., Маркелов А.В., Корытов А.С.

Ярославский государственный технический университет, Ярославль

Ключевые слова: строительные и дорожные машины, силовые агрегаты, надежность, анализ отказов, смазочные материалы на водной основе, полимеры, энергоэффективность.

Аннотация. Статья представляет собой всесторонний анализ причин низкой эксплуатационной надежности строительных и дорожных машин, которые играют ключевую роль в современном строительстве и инфраструктуре. Основная мысль текста заключается в том, что недостаточная надежность этих машин обусловлена не только техническими факторами, но и рядом организационных и эксплуатационных аспектов. В статье представлены такие методы исследования, как анализ статистических отказов, опрос специалистов, лабораторные испытания, системный анализ. По результатам, которых сделаны выводы, что факторами, влияющими на эксплуатационную надежность строительных и дорожных машин, являются недостаток проектирования, неэффективное обслуживание, эксплуатация в неблагоприятных условиях, отсутствие регулярного контроля. Одним из предложений по повышению надежности является применение смазочного материала на водной основе с низким коэффициентом трения. Следует подчеркнуть, что низкая эксплуатационная надежность строительных и дорожных машин негативно сказывается на общей продуктивности строительных процессов, что приводит к росту затрат и увеличению сроков выполнения проектов. Также статья поднимает кадровый вопрос: недостаток профессионально подготовленных специалистов для работы с современными конструкциями машин фактически затрудняет их полноценное использование. Таким образом, в тексте уделяется внимание на необходимости комплексного подхода к решению проблемы, включая улучшение качества производственной базы, внедрение современных технологий и систематизацию процессов обслуживания и ремонта. Только такой подход может привести к повышению надежности строительных и дорожных машин, что, в свою очередь, окажет положительное влияние на всю строительную отрасль, минимизируя время простоя и связанные с ними финансовые потери.

ANALYSIS OF THE CAUSES OF LOW OPERATIONAL RELIABILITY OF CONSTRUCTION AND ROAD VEHICLES

Trofimenko B.P., Markelov A.V., Korytov A.S.

Yaroslavl State Technical University, Yaroslavl

Keywords: construction and road vehicles, power units, reliability, failure analysis, water-based lubricants, polymers, energy efficiency.

Abstract. The article presents a comprehensive analysis of the causes of low operational reliability of construction and road vehicles, which play a key role in modern construction and infrastructure. The main idea of the text is that the insufficient reliability of these machines is due not only to technical factors, but also to a number of organizational and operational aspects. The article presents such research methods as analysis of statistical failures, survey of specialists, laboratory tests, and system analysis. According to the results, it was concluded that the factors affecting the operational reliability of construction and road vehicles are a lack of design, inefficient maintenance, operation in adverse conditions, and lack of regular monitoring. One of the suggestions for improving reliability is the use of a water-based lubricant with a low coefficient of friction. It should be emphasized that the low operational reliability of construction and road machinery negatively affects the overall productivity of construction processes, which leads to increased costs and increased project deadlines. The article also raises a personnel issue: the lack of professionally trained specialists to work with modern machine designs actually makes it difficult to fully use them. Thus, text pays attention to the need for an integrated approach to solving the problem, including improving the quality of the production base, introducing modern technologies and systematizing maintenance and repair processes. Only such an approach can lead to an increase in the reliability of construction and road vehicles, which, in turn, will have a positive impact on the entire construction industry, minimizing downtime and associated financial losses.

Введение

В последние годы наблюдается рост интереса к обеспечению надежности и долговечности строительных и дорожных машин. Это связано не только с увеличением

объемов строительства и реконструкции объектов инфраструктуры, но и с высоким уровнем затрат на обслуживание и ремонт техники. Низкая эксплуатационная надежность может приводить к значительным финансовым потерям для компаний, использующих такую технику [1], и снижению безопасности на строительных площадках.

Исследования, посвященные выявлению причин низкой надежности, имеют важное значение для оптимизации эксплуатационных характеристик машин и повышения их эффективности [2]. Актуальность данного исследования объясняется необходимостью совершенствования управления техническим обслуживанием и ремонтом техники, а также разработки рекомендаций по повышению надежности машин.

На строительные и дорожные машины (СДМ) в основном устанавливаются двигатели от автотракторной техники, условия эксплуатации которых существенно отличаются от условий эксплуатации автомобилей и стационарных установок. Важными особенностями при эксплуатации силового оборудования СДМ являются [3]: высокая запыленность воздуха, тяжелые климатические условия, специфичность технического обслуживания и условий хранения, высокие нагрузки при работе двигателя, резко переменный, неустановившийся характер нагружения двигателя.

Эксплуатация СДМ часто связана с разрушением грунта, что увеличивает концентрацию пыли в воздухе [4]. Частицы пыли в рабочем масле увеличивают износ компонентов трибосопряжения и, как следствие, снижают долговечность механизмов [5]. В условиях низких температур низкая температура двигателя приводит к образованию плотных углеродистых отложений, засорению поршневых колец, ускоренному "старению" масла и повышенному износу кривошипно-шатунного механизма. Кроме того, повышение вязкости масла приводит к его "голоданию" двигателем при запуске. Трудности с запуском при низких температурах, означают, что двигатель может не выключиться после остановки машины. Эта неэффективная трата моторесурса двигателя, а также длительная работа двигателя на холостом ходу снижают его долговечность [6].

Методы исследования

Для осуществления анализа причин низкой эксплуатационной надежности строительных и дорожных машин были использованы методы, представленные в литературе [7].

1. Анализ статистики отказов. Собраны данные о частоте отказов различных моделей строительных и дорожных машин за последние пять лет из нескольких крупных строительных компаний.

2. Метод экспертных оценок. Проведен опрос 27 инженеров и операторов строительной техники, которые поделились своими наблюдениями о причинах отказов и проблемах в эксплуатации.

3. Лабораторные испытания компонентов. Выполнены испытания ключевых компонентов машин, таких как двигатели, трансмиссии и гидравлические системы, для определения их предельных условий эксплуатации и выявления структурных недостатков.

4. Системный анализ. Применен системный подход для изучения взаимодействия различных факторов, влияющих на эксплуатационную надежность техники, включая проектирование, производство, эксплуатацию и сервисное обслуживание.

Результаты исследования

Результаты анализа позволили выделить несколько основных причин, приводящих к низкой эксплуатационной надежности строительных и дорожных машин.

1. Недостатки проектирования. Многие модели машин имеют устаревшие конструктивные особенности, не учитывающие современных условий эксплуатации. Например, использование материалов с низкими эксплуатационными характеристиками приводит к преждевременному износу.

2. Неэффективное обслуживание. Согласно опросу, 58% участников отметили недостаточную квалификацию обслуживающего персонала как значительный фактор. Частые

ошибки в техническом обслуживании и отсутствие регулярных профилактических мероприятий приводят к увеличению числа отказов.

3. Эксплуатация в неблагоприятных условиях. Техника может использоваться в условиях, превышающих допустимые нагрузки, рассчитанные заводом изготовителем. Кроме этого, работы в условиях высокой влажности или на непрочных грунтах также способствуют увеличению вероятности отказов.

4. Отсутствие регулярного контроля состояния и диагностики. Около трети опрошенных респондентов сообщила о регулярном мониторинге технического состояния машин. Эта недоступность информации о состоянии оборудования приводит к неожиданным поломкам.

Основными факторами, влияющими на износ деталей, являются: запуск двигателей в холод и не соблюдение оптимальных температурных режимов, высокая загрязненность воздуха, неисправность систем очистки воздуха и масла, использование несоответствующих горюче-смазочных материалов, некачественное обслуживание систем электропитания, неквалифицированная эксплуатация машин [8].

Анализируя работу различных СДМ, можно сделать вывод, что в большинстве случаев силовой агрегат работает с повышенной нагрузкой. Нагрузка составляет 65-75% от общего времени работы двигателей бульдозеров, 70-80% – одноковшовых погрузчиков и 55-65% – автогрейдеров. Степень напряженности работы двигателя характеризуется временем работы под нагрузкой, временем, отводимым на выполнение каждой задачи технического цикла, количеством включений и запусков главного механизма машины [9].

Высокая напряженность работы приводит к повышению удельного давления в трибосопряжении, ударным нагрузкам и повышенному износу [10]. Кроме того, характер нагрузок в процессе технической эксплуатации не является постоянным. Это связано с тем, что затраты энергии, необходимые для преодоления сопротивления перемещению рабочего органа меняются с течением времени [11]. Например, двигатель может работать со значительной перегрузкой, если в процессе выполнения рабочего цикла момент сопротивления значительно превышает крутящий момент двигателя. Это приводит к динамическому увеличению удельной нагрузки внутри трибосопряжения. Изменение нагрузки вызывает изменение скорости движения рабочей машины, шасси, трансмиссии и двигателя, что приводит к возникновению нагружения силовой установки инерционными силами.

Тяжелые условия эксплуатации СДМ влияют на их надежность и долговечность [12].

В таблице 1 приведены сравнительные данные по наработке агрегатов СДМ, устанавливаемые на СДМ и сельскохозяйственном тракторе.

Табл. 1. Количество включений основных механизмов машин за час работы

Механизм	Машина	
	бульдозер	трелевочный трактор
Муфта сцепления	105	82
Коробка перемены передач	80	28
Фрикционы	190	55
Гидросистема	1100	12

Вследствие всех вышеперечисленных факторов срок службы силовых агрегатов СДМ относительно невысок по сравнению с аналогичными силовыми агрегатами других машин. Поэтому средний срок службы двигателей бульдозеров до капитального ремонта составляет 2700-2800 часов.

Так по данным эксплуатационных организаций (табл. 2) простои СДМ в текущем ремонте по причине неисправности двигателя составляют 10,5%, трансмиссии 42,4%. В сумме на устранение неисправностей силовых установок приходится 52,9% простоев всех эксплуатирующийся СДМ. Надежность механических систем СДМ находится на относительно низком уровне.

Табл. 2. Распределение простоев СДМ в ремонте по видам неисправностей

Машина	Двигатель	Автошины	Электро-оборудование	Тормозная система	Гидросистема	Трансмиссия	Ходовая часть	Рабочее оборудование	Всего
Кран	16	44	20	32	67	710	3	-	892
Бульдозер	773	-	145	8	120	1785	1971	513	5315
Автогрейдер	87	75	3	4	43	600	319	327	1458
Погрузчик	41	25	3	2	170	606	198	26	1071
Итого:	917	144	171	46	400	3701	2491	866	8736
	10,5%	1,6%	2,0%	0,5%	4,6%	42,4%	28,5%	9,9%	100%

Низкая эксплуатационная надежность строительных и дорожных машин, связанная с маслом, является одной из наиболее распространенных проблем. Масло играет важную роль в работе машин и оборудования, обеспечивая смазку и защиту двигателя, а также других узлов и деталей от износа и коррозии [13]. Использование некачественного масла может привести к его быстрому износу и ослаблению свойств смазки [14]. В результате этого увеличивается риск поломок и аварий, а также снижается срок службы машин и оборудования.

Еще одной причиной низкой надежности является недостаточный уровень масла в системе смазки. Недостаточное количество масла может привести к трению и износу деталей, а также к перегреву двигателя и других узлов. Это может привести к серьезным повреждениям и необходимости капитального ремонта.

Повышение надежности механических систем решается путем выбора износостойких материалов пары трения и подбора к ним смазочных материалов.

Одним из методов, используемых для улучшения технического обслуживания и надежности строительного оборудования, является диагностика масла [15].

Диагностика состояния машины посредством анализа смазочных материалов была опробована в различных областях. Она применяется не только для контроля состояния важных деталей машины, таких как двигатели и коробки передач в автомобилях, высокоскоростных поездах, но и в строительной технике [16].

В трансмиссии, в зоне контакта двух боковых сторон зубьев с высокими скоростями скольжения выделяется тепло трения. Это приводит к высокой температуре вспышки, что повышает риск задиоров [17]. Хорошие условия смазки необходимы для предотвращения трибологических повреждений на поверхности боковой поверхности зуба, таких как истирание, износ и микропиттинг. В частности, важно создать достаточную толщину пленки, учитывая, что минимальная толщина смазочной пленки в контакте шестерни является основным фактором, который следует учитывать при оценке износа скольжения шестерни.

Несущая способность конструкции зависит не только от материала, термической обработки, нагрузки, контактного давления и условий скольжения, но также от выбора смазочных материалов. Что касается эффективности, потери мощности можно уменьшить, используя смазочный материал с низким коэффициентом трения [18].

Исследователи [19] сосредоточились на возможности замены масла на смазочный материал на водной основе, чтобы сократить негативное влияние на окружающую среду и повысить надежность. Представленный новый смазочный материал, разработанный для использования в зубчатых передачах, представляет собой смазочный материал на водной основе, не содержащий масла. Он состоит из воды, полимерных добавок и специальных присадок, которые обеспечивают отличные смазывающие свойства и защиту от износа.

Основные составляющие смазочного материала включают в себя воду, которая служит основой для различных полимерных добавок. Полимеры используются для создания пленки, которая обеспечивает снижение трения между контактирующими поверхностями в зубчатых передачах. Это позволяет улучшить эффективность работы передач и снизить потерю энергии.

В смазочном материале также присутствуют специальные присадки, которые защищают от износа и коррозии. Они помогают предотвратить образование ржавчины на металлических поверхностях и предотвратить износ зубчатых профилей. Это особенно важно для передач, работающих в тяжелых условиях и подверженных высоким нагрузкам.

Смазочный материал на водной основе обладает рядом характеристик, которые делают его привлекательным для использования в зубчатых передачах. Отсутствие масла в его составе позволяет избежать проблем, связанных с утечкой масла или загрязнением смазочным материалом окружающей среды. Кроме того, он обладает хорошей смазывающей способностью, что позволяет уменьшить трение и износ зубчатых передач.

Также следует отметить, что новый смазочный материал обладает высокой стойкостью к окислению и термическому разложению, что позволяет ему сохранять свои смазывающие свойства даже при высоких температурах, и делает его особенно подходящим для работы в таких условиях, когда другие смазочные материалы могут терять свои свойства.

Полученные результаты показали, что данная технология смазки подходит для использования в зубчатых передачах. По сравнению с минеральными и синтетическими маслами, образец жидкости обладал очень низким коэффициентом трения. Также отмечалась его высокая термическая устойчивость.

Благодаря высокой теплопроводности жидкости на водной основе можно снизить рабочие температуры в зубчатых передачах, что приводит к экономии электроэнергии. Кроме того, смазка на водной основе не содержит вредных растворителей и биоразлагаема. Её использование обеспечивает лучшую противопожарную защиту и является более простым и безопасным в обращении по сравнению с маслами. Таким образом, для дальнейшей работы необходимо определиться с выбором подходящего полимера и соответствующих добавок, а также уточнить область применения.

Выводы. В ходе исследования были выявлены основные причины низкой эксплуатационной надежности строительных и дорожных машин. Устранение недостатков проектирования, повышение квалификации обслуживающего персонала и внедрение регулярного контроля состояния техники могут существенно повысить надежность эксплуатации. Необходимы комплексные меры, включающие как технические, так и организационные аспекты, для улучшения качества обслуживания и повышения надежности строительной техники. Рекомендуется проводить регулярные тренинги для персонала и внедрять системы мониторинга [20], что позволит сократить время простоя техники и снизить затраты на ее обслуживание.

Список литературы

1. Иванова О.С., Станкевич Н.Л. Экономический анализ эксплуатации строительной техники // Экономика и управление. – 2021. – № 1. – С. 15-22.
2. Толстиков В.Г., Морозов И.М. Обеспечение надежности и качества строительной техники // Строительные технологии. – 2020. – № 2. – С. 45-50.
3. Веригин Ю.А. Строительные машины: Учебное пособие. – Барнаул: Изд-во АлтГТУ, – 2000. – 141 с.
4. Шелест Т.А., Коваленко Д.П. Качество и надежность строительной-дорожной техники. – М.: Изд-во МГСУ, – 2018. – 312 с.
5. Алексеева Т.В., Артемьев К.А., Бромберг А.А. Дорожные машины. Часть I. Машины для земляных работ. – М.: Машиностроение, 1972. – 504 с.
6. Бакуревич Ю.А. Эксплуатация автомобилей при низких температурах. – М.: Транспорт, 1973. – 68 с.
7. Александров С.И. Методы оценки и повышения надежности машин строительного назначения. – М.: Институт механики, 2019. – 192 с.
8. Орлин А.С., Круглов М.Г. Двигатели внутреннего сгорания. Конструирование и расчет на прочность поршневых и комбинированных двигателей. – М.: Машиностроение, 1984. – 383 с.
9. Зорин В.А. Управление рисками при проектировании, производстве и эксплуатации строительной-дорожной техники // Механизация строительства. – 2016. – №10. – С. 45-48.
10. Кузнецов В.С., Ковтун А.Н. Исследование причин снижения надежности дорожно-строительной техники // Техника и технологии. – 2020. – № 3. – С. 30-35.
11. Ильин С.В. Эксплуатационная надежность строительной техники // Журнал строительной науки. – 2020. – №12(3). – С. 45-51.
12. Вусик А.Б. Надежность и качество строительных машин. – М.: Стройиздат, 2019. – 240 с.

13. Лебедев В.А. Анализ причин отказов строительной техники // Сборник научных трудов II Всероссийской научной конференции. – Ростов-на-дону: РГТУ, 2022. – С. 57-64.
14. Павлов А.И. Аварийная эксплуатация строительной техники: основания и последствия. – М.: Технонаука, 2022. – 224 с.
15. Кузнецов А.Б., Петренко Ю.П. Управление техническим обслуживанием и ремонтом строительных машин. – М.: Инженерная академия, 2021. – 89 с.
16. Sung-Ho H., Hong-Gyu J. Monitoring the Conditions of Hydraulic Oil with Integrated Oil Sensors in Construction Equipment // Lubricants. 2022, no. 10(11), p. 278. doi.org/10.3390/lubricants10110278.
17. Кузнецов В.С., Ковтун А.Н. Исследование причин снижения надежности дорожно-строительной техники // Техника и технологии. – 2020. – № 3. – С. 30-35.
18. Mustafa Y., Thomas L., Klaus M., Karsten S. Bearing Power Losses with Water-Containing Gear Fluids // Lubricants. 2020, no. 8(1), p. 5. doi.org/10.3390/lubricants8010005.
19. Nadine S., Andreas D., Thomas T., Karsten S. Jens O. Development of an Oil Free Water-Based Lubricant for Gear Applications // Lubricants. 2019, no. 7(4), p. 33. doi.org/10.3390/lubricants7040033.
20. Федоров И.Г. Системы мониторинга состояния техники. // Научные достижения в области машиностроения. – 2023. – № 22. – С. 73-79.

References

1. Ivanova O.S., Stankevich N.L. Economic analysis of the operation of construction equipment // Economy and Management. 2021, no. 1, pp. 15-22.
2. Tolstikov V.G., Morozov I.M. Ensuring the reliability and quality of construction equipment // Construction technologies. 2020, no. 2, pp. 45-50.
3. Verigin Yu.A. Construction machines: A tutorial. – Barnaul: Publ. house ASTU, 2000. – 141 p.
4. Shelest T.A., Kovalenko D.P. Quality and reliability of construction and road equipment. – М.: Publ. house MSCU, 2018. – 312 p.
5. Alekseeva T.V., Artemyev K.A., Bromberg A.A. Road Machines. Part I. Earthmoving Machines. – М.: Mechanical Engineering, 1972. – 504 p.
6. Bakurevich Yu.A. Operation of Vehicles at Low Temperatures. – М.: Transport, 1973. – 68 p.
7. Aleksandrov S.I. Methods for Assessing and Improving the Reliability of Construction Machines. – М.: Institute of Mechanic, 2019. – 192 p.
8. Orlin A.S., Kruglov M.G. Internal Combustion Engines. Design and Strength Calculation of Piston and Combined Engines. – М.: Mechanical Engineering, 1984. – 383 p.
9. Zorin V.A. Risk Management in the Design, Production and Operation of Road Construction Machines // Mechanization of Construction. 2016, no. 10, pp. 45-48.
10. Kuznetsov V.S., Kovtun A.N. Study of the reasons for the decrease in the reliability of road construction equipment // Equipment and Technologies. 2020, no. 3, pp. 30-35.
11. Ilyin S.V. Operational reliability of construction equipment // Journal of Construction Science. 2020, no. 12(3), pp. 45-51.
12. Vusik A.B. Reliability and quality of construction machines. – М.: Stroyizdat, 2019. – 240 p.
13. Lebedev V.A. Analysis of the causes of failures of construction equipment // Collection of scientific papers of the II All-Russian scientific conference. – Rostov-on-Don: RSTU, 2022. – P. 57-64.
14. Pavlov A.I. Emergency operation of construction equipment: reasons and consequences. – М.: Technonauka, 2022. – 224 p.
15. Kuznetsov A.B., Petrenko Yu.P. Management of technical maintenance and repair of construction machines. – М.: Engineering Academy, 2021. – 89 p.
16. Sung-Ho H., Hong-Gyu J. Monitoring the Conditions of Hydraulic Oil with Integrated Oil Sensors in Construction Equipment // Lubricants. 2022, no. 10(11), p. 278. doi.org/10.3390/lubricants10110278.
17. Kuznetsov V.S., Kovtun A.N. Study of the reasons for the decrease in the reliability of road construction equipment // Equipment and Technologies. 2020, no. 3, pp. 30-35.
18. Mustafa Y., Thomas L., Klaus M., Karsten S. Bearing Power Losses with Water-Containing Gear Fluids // Lubricants. 2020, no. 8(1), p. 5. doi.org/10.3390/lubricants8010005.
19. Nadine S., Andreas D., Thomas T., Karsten S. Jens O. Development of an Oil Free Water-Based Lubricant for Gear Applications // Lubricants. 2019, no. 7(4), p. 33. doi.org/10.3390/lubricants7040033.
20. Fedorov I.G. Machine condition monitoring systems // Scientific achievements in mechanical engineering. 2023, no. 22, pp. 73-79.

Сведения об авторах:

Information about authors:

Трофименко Богдан Павлович – аспирант	Trofimenko Bogdan Pavlovich – postgraduate student
Маркелов Александр Владимирович – доктор технических наук, доцент кафедры «Инфраструктура и транспорт»	Markelov Aleksandr Vladimirovich – doctor of technical sciences, associate professor of the Department "Infrastructure and transport"
Корытов Алексей Сергеевич – магистрант	Korytov Aleksey Sergeevich – graduate student
bog6741@yandex.ru	

Получена 07.10.2024