

ЦИФРОВИЗАЦИЯ УПРАВЛЕНИЯ СИСТЕМОЙ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ И РЕМОНТА ЛЕСОЗАГОТОВИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ

В. В. Сиваков

Брянский государственный инженерно-технологический университет
Российская Федерация, 241037, г. Брянск, пр. Станке Димитрова, 3

Проблема повышения эффективности лесозаготовительной техники за счет мониторинга ее технического состояния и своевременного проведения необходимого технического обслуживания и ремонта является актуальной, так как поддержание работоспособного состояния машин требует больших временных, материальных и финансовых затрат, при этом внезапный выход машины из строя приводит к простоям и убыткам предприятия. Особое значение данная задача имеет для лесозаготовительной техники, которая находится на лесосеке, вдали от сервисной базы предприятия. В этом случае важен постоянный мониторинг состояния машин и контроль всех мероприятий, связанных с качественным и своевременным техническим обслуживанием и ремонтом, который может быть осуществлен самостоятельно оператором машины, выездной бригадой предприятия, выездным сервисом универсального или дилерского предприятия. Применение электронных систем, облегчающих работу современных машин, а также систем самодиагностики создает предпосылки для внедрения технологии удаленного мониторинга их технического состояния. В то же время, для эффективного решения задачи поддержания работоспособности машин необходимо учитывать большое число разнообразных факторов, связанных как с условиями работы машины и ее реальным техническим состоянием, так и наличием свободных ремонтных мощностей, квалифицированного ремонтного персонала, запасных частей и материалов, возможностей сторонних сервисных организаций. Успешное решение задачи повышения эффективности управления системой ТО и Р возможно за счет внедрения цифровых технологий как для мониторинга технического состояния машин, так и для планирования работ и приобретения необходимых запчастей и материалов, управления всеми производственными процессами на базе единой информационной системы управления класса ERP. Выбор программного обеспечения для управления техническим обслуживанием и ремонтом должен осуществляться на основе анализа возможностей конкретного программного продукта, потребностей предприятия и возможности встраивания приобретаемого программного обеспечения в единую информационную систему управления.

Ключевые слова: система технического обслуживания и ремонта, лесозаготовительные машины, программное обеспечение, цифровизация ТО и Р.

Conifers of the boreal area. 2024, Vol. XLII, No. 1, P. 64–71

DIGITALISATION OF THE MANAGEMENT SYSTEM OF MAINTENANCE AND REPAIR OF FORESTRY MACHINES

V. V. Sivakov

Bryansk State Technological University of Engineering
3, Stanke Dimitrova str., Bryansk, 241037, Russian Federation

The problem of increasing the efficiency of forestry machinery by monitoring its technical condition and timely performance of necessary maintenance and repair is relevant, since maintaining the working condition of machines requires large time, material and financial expenses, with sudden machine failure leading to downtime and losses of the enterprise. This is particularly important for forestry machines that are located at the harvesting area, far away from the company's service base. In this case, it is important to constantly monitor the condition of the machines and control all activities related to quality and timely maintenance and repair, which can be carried out by the machine operator himself, by a visiting company team, a field service of a universal or dealership. The use of electronic systems that facilitate the operation of modern machines, as well as self-diagnostic systems, creates the prerequisites for the introduction of technology for the remote monitoring of their technical condition. At the same time, in order to effectively solve the problem of maintaining machine operability it is necessary to take into account a large number of various factors related both to operating conditions of the machine and its real technical condition, and availability of spare repair capacities, qualified repair personnel, spare parts and materials, capabilities of third-party service organizations. A successful solution to the problem of improving the efficiency of the maintenance and repair system is possible through the introduction of digital technologies for both monitoring the technical condition of machines, and

for planning work and the purchase of necessary spare parts and materials, management of all production processes on the basis of a unified management information system of ERP class. The selection of a specific maintenance and repair management software should be based on an analysis of the capabilities of the specific software product, the needs of the company, and the possibility of integrating the purchased software into a unified management information system.

Keyword: Maintenance and repair system, forestry machines, software, digitalisation of maintenance and repair.

ВВЕДЕНИЕ

Проблема повышения эффективности управления процессом технического обслуживания и ремонта лесозаготовительной техники может быть решена путем широкого внедрения цифровых технологий, так как управление сложными техническими объектами, требующими регулярного технического обслуживания и ремонта, является сложной и трудоемкой задачей, от решения которой во многом зависит экономическая эффективность производства [1]. Управление техническим состоянием машин на предприятиях осуществляется, как правило, в соответствии с планово-предупредительной системой технического обслуживания и ремонта (ТО и Р) [2] (рис. 1). Однако данная система не учитывается фактическое состояние машины, что снижает ее эффективность.

Широкое внедрение в конструкцию машин электронных систем, систем их диагностирования, в том числе удаленного [3], технологии «Интернета вещей» (IoT) [4; 5] позволили разработать ряд других систем, направленных на повышение эффективности управления системой ТО и Р:

- системы, ориентированные на надежность (RCM) [6];
- обслуживание, ориентированное на предотвращение рисков (RBI) [7];
- ремонт по состоянию [8; 9].

Указанные системы не решают всех проблем эффективной организации технического обслуживания и ремонта, обладают своим набором достоинств и недостатков [10], поэтому поиск путей совершенствования продолжается. Особенно актуальна данная ситуация в случае эксплуатации техники вдали от ремонтной базы предприятия, поэтому для таких машин в качестве основной системы целесообразно использовать систему «ремонт по состоянию», однако для ее внедрения необходимо оснащение техники цифровой диагностической системой, позволяющей осуществ-

лять непрерывный мониторинг состояния контролируемых узлов, телекоммуникационным оборудованием, позволяющим передавать полученные данные на сервер компании, а также квалифицированными сотрудниками [11].

Цель работы заключается в оценке применимости цифровых информационных технологий для управления системой технического обслуживания и ремонта лесозаготовительной техники, обеспечивающей повышение эффективности деятельности предприятия.

Новизна работы заключается в определении специфики проведения технического обслуживания и ремонта лесозаготовительной техники, находящейся на лесосеке, вдали от сервисной базы предприятия, проведении анализа функциональных возможностей предлагаемых в настоящее время информационных систем для обеспечения эффективного управления техническим обслуживанием и ремонтом машин.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В статье рассмотрены особенности работы системы технического обслуживания и ремонта лесозаготовительной техники и проблемы, связанные с повышением ее эффективности за счет ее цифровизации. Рассмотрены программные продукты, применяемые для управления техническим обслуживанием и ремонтом машин на предприятии, выполнен анализ их функциональности, уровни применения, модульности построения, развертыванию, возможностям встраивания в единую информационную среду.

Задача поддержания работоспособности машин лесозаготовительного предприятия осложняется необходимостью учета большого числа факторов, зависящих от условий работы машин, их реального технического состояния, наличия свободных сервисных мощностей, квалифицированных механиков, запасных частей и материалов [12; 13].



Рис. 1. Система планово-предупредительного ремонта машин

В прошлом, эта работа требовала больших усилий со стороны управленческого персонала, умения предвидеть возможное развитие ситуации, однако, зачастую, техника простаивала, ведь точно указать время выхода из строя того или иного узла было практически невозможно.

Совершенствование элементной базы электроники позволила производителям машин создать электронные системы, управляющие работой многих систем и агрегатов, а также осуществлять мониторинг технического состояния машин и оборудования. Цифровизация деятельности лесозаготовительных предприятий [14] позволяет эффективнее планировать техническое обслуживание и ремонт техники, приобретать необходимые запчасти и материалы, управлять всеми производственными процессами.

Специфика работы предприятия требует учета различных факторов, позволяющих эффективно управлять системой ТО и Р. Учитывая, что на лесозаготовительном предприятии может быть как лесозаготовительные машины, так и стационарное технологическое оборудование, возникает необходимость организовать управление их техническим обслуживанием и ремонтом не только на ремонтной базе предприятия, но и вдали от нее, при работе на лесосеке. В этом случае выполнение мероприятий по техническому обслуживанию, в том числе ежесменному, а также внеплановому ремонту приходится выполнять не на самом предприятии (что усложняет процесс, появляются дополнительные затраты на транспортировку), а непосредственно на месте работы или временной стоянки техники (рис. 2). Это может привести к некачественному обслуживанию или же вовсе к его пропуску вследствие слабого контроля проводимых мероприятий, а также затруднению качественного ремонта вследствие отсутствия необходимого оборудования, квалифицированных сотрудников сервисной службы, отсутствия доступа к необходимой сервисной документации по обслуживанию и ремонту.

Проведение ЕТО на месте работы или стоянки техники может осуществляться самостоятельно оператором машины, технические обслуживания и ремонт, в зависимости от сложности, могут проводиться или выездной бригадой предприятия или же, в случае использования сложной техники зарубежного производства, мобильной ремонтной службой специализированного предприятия или официального дилера. Широкое применение электронных систем в конструкции современных машин обуславливает необходимость их диагностирования и настройки, для чего требуется фирменное диагностическое оборудование производителя, доступ к его базам данных с технической информацией, что доступно только для официальных дилеров.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Ведущие мировые производители лесозаготовительной техники, такие как Ponsse, John Deere, Komatsu, для мониторинга и управления своей техникой разработали и широко применяют оригинальные программные решения (рис. 3), так, управления техническим обслуживанием и ремонтом машин компа-

нии Ponsse осуществляется на основе программы Fleet Manager [15], Komatsu организывает процесс управления на базе программы MaxiFleet [16]. Компания John Deere с помощью разработанного приложения TimberLink [17] предлагает управление не только харвестерами и форвардерами, но и другой лесозаготовительной техникой, например, погрузчиками, трелевщиками, валочно-пакетирующими машинами.

Как показал проведенный анализ, стандартным решением для производителей является доступ к электронному каталогу запчастей и электронному руководству к машине, поиску дилеров и организации связи с ними. Также организован сбор данных о состоянии машины, ее производительности с отправкой или в специализированную программу компании (Komatsu, John Deere) или же в используемую предприятием ERP систему (Ponsse). Дальнейшим развитием электронных систем компаний John Deere является удаленный доступ к машине и ее удаленная диагностика посредством JDLINK. Данное решение применяется не только для лесозаготовительной техники, производимой компанией John Deere, но и для всей выпускаемой линейки (сельскохозяйственной, строительной и другой техники).

Таким образом, данные, собранные с отдельных лесных машин, обрабатываются в облачной среде и далее предоставляются ИТ-системам заказчика. На основе этих данных создаются различные отчеты, позволяющие эффективно планировать ресурсы и соответствующим образом планировать предстоящую работу.

Учитывая, что в настоящее время происходит активное внедрение цифровых технологий в разные сферы экономики [18; 19], осуществляется переход на новый технологический уклад [20; 21; 22], задача разработки и внедрения систем, контролирующих состояние машин, является актуальной. Разработаны как отечественные системы мониторинга работы карьерных экскаваторов [23; 24] и самосвалов [25; 26], так и зарубежные [27; 28].

Для совершенствования управления процессом ТО и Р техники, интеграции получаемых данных в систему управления предприятием, рядом компаний, не связанных с производителями лесозаготовительных машин, применяется достаточно большое количество систем управления ТО и Р, которые разделяются на 5 классов (рис. 4).

Применяемое программное обеспечение представлено в таблице.

Рассматриваемое программное обеспечение зачастую дублирует часть функций, относится к нескольким классам, разработано в рамках единой системы управления предприятием класса ERP, как отечественных: 1С (1С:ТОИР, 1С:RCM Управление надежностью), Галактика (Галактика EAM), так и иностранных: IBM (IBM Maximo), SAP (SAP Predictive Maintenance and Service, SAP Asset Intelligence Network), Oracle (Oracle Enterprise Asset Management). Такие системы управления ТО и Р могут быть развернуты как на базе сервера предприятия, так и облачных решений сторонних компаний, некоторые предлагаются дополнительно на мобильных устройствах (телефонах, планшетах).



Рис. 2. Возможность проведения ТО и Р



Рис. 3. Программное обеспечение для управления техническим обслуживанием техники ведущими мировыми производителями лесозаготовительной техники



Рис. 4. Системы управления техническим обслуживанием и ремонтом

Программное обеспечение для управления техническим обслуживанием и ремонтом [29]

	Системы управления активами предприятия (EAM)	Автоматизированные системы управления техническим обслуживанием (CMMS)	Системы предиктивного технического обслуживания (PdM)	Системы надёжно-ориентированного технического обслуживания (RCM)	Системы управления выездным сервисным обслуживанием (FSM)
1C:ТОИР	+	+	+	+	
TRIM	+	+		+	+
NERPA EAM	+	+	+		
Infor EAM	+	+	+		
F5 EAM	+	+	+		
Ellipse EAM	+	+	+		
Галактика EAM	+	+		+	
HubEx	+	+			+
openMAINT	+	+			+
Seascope	+	+			
Global-EAM	+	+			
F5 PMM		+	+		
1C:RCM Управление надёжностью			+	+	
IBM Maximo	+		+		
SAP Predictive Maintenance and Service	+				+
робоТОиР		+			+

Последнее важно при организации выездного обслуживания техники, так как ускоряет ввод данных в систему управления. Для лесозаготовительной техники, эксплуатируемой вдали от телекоммуникационных каналов связи, важным является режим автономной работы устройства до появления возможности синхронизации с сервером.

Таким образом, проблема повышения эффективности управления системой технического обслуживания и ремонта машин, снижения расходов на поддержание исправного состояния машин актуальна и может быть решена за счет цифровизации процессов на основе программных решений как производителей лесозаготовительной техники, так и сторонних IT-компаний.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основании проведенных исследований установлено, что вопросам цифровизации технического обслуживания и ремонта лесозаготовительных машин в последнее время уделяют большое внимание. Активно развиваются программные продукты, направленные на автоматизацию процесса управления техническим обслуживанием и ремонтом машин [30; 31] как ведущими производителями лесозаготовительных машин, так и сторонними компаниями, при этом представленное программное обеспечение предлагается как отечественными, так и зарубежными IT-компаниями, функционально, может развертываться как на основе сервера, так и облачных технологий. Наиболее продвинутые программные продукты направлены не просто на упорядочение управления техническим обслуживанием и ремонтом, а на повышение работоспособности оборудования за счет постоянного монито-

ринга и прогнозирования изменения контролируемых узлов и систем. Выбор конкретного программного продукта должен осуществляться исходя из совместимости с уже используемыми ERP системами управления предприятием и необходимости создания единой цифровой среды для повышения эффективности работы предприятия.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЕ ССЫЛКИ

1. Фанта Е. А. Ключевые показатели эффективности в использовании запасных частей как точки контроля в системе управления производственным предприятием // Вопросы инновационной экономики. 2019. Том 9. № 1. С. 267–274. DOI: 10.18334/vinec.9.1.39935.
2. Иовлев Г. А. Мировая практика организации технического сервиса // Агропродовольственная политика России. 2018. № 4(76). С. 49–53.
3. Гурский А. С., Ивашко В. С. Использование транспортной телематики и дистанционной диагностики для совершенствования технического обслуживания и ремонта транспортных средств // Известия Национальной академии наук Беларуси. Серия физико-технических наук. 2020. Т. 65, № 3. С. 375–383. DOI: 10.29235/1561-8358-2020-65-3-375-383.
4. Bauer H., Patel M., Veira J. (2016) The Internet of Things: sizing up the opportunity. New York (NY): McKinsey & Company. URL: <http://www.mckinsey.com/industries/high-tech/our-insights/the-internet-of-things-sizing-up-the-opportunity/>.
5. Parshina I. S., Frolov E. B. Development of a digital twin of the production system on the basis of modern digital technologies. *Ekonomika v promyshlennosti* = Russian Journal of Industrial Econom-

ics, 2020. Vol. 13. No. 1. Pp. 29–34. (In Russ.). DOI: 10.17073/2072-1633-2020-1-29-34.

6. Тугенгольд А. К., Волошин Р. Н., Юсупов А. Р., Круглова Т. Н. Техническое обслуживание технологических машин на базе цифровизации // Вестник Донского государственного технического университета. 2019. Т. 19, № 1. С. 74–80. DOI: 10.23947/1992-5980-2019-19-1-74-80.

7. Завьялов А. П. Диагностическое обслуживание оборудования и трубопроводов нефтегазовых производств при риск-ориентированном подходе к эксплуатации // Оборудование и технологии для нефтегазового комплекса. 2020. № 3(117). С. 79–81. DOI: 10.33285/1999-6934-2020-3(117)-79-81.

8. Безуглов А. Е., Кислицына О. А. Ключевые показатели эффективности при проведении технического обслуживания и ремонта оборудования // Вопросы инновационной экономики. 2019. Т. 9, № 4. С. 1501–1514. DOI: 10.18334/vines.9.4.41208.

9. Гончаров А. Б., Тулинов А. Б., Перепечай Б. А., Гончаров А. А. Методы организации системы технического обслуживания и ремонта оборудования с целью обеспечения его безотказной работы // Ремонт. Восстановление. Модернизация. 2017. № 2. С. 35–40.

10. Мерданов Ш. М., Конев В. В. Совершенствование организации технического обслуживания и ремонта строительно-дорожных машин // Транспорт и машиностроение Западной Сибири. 2020. № 2. С. 15–21.

11. Семькина А. С., Загородний Н. А. Совершенствование системы технического обслуживания и ремонта карьерного автомобильного транспорта // Мир транспорта и технологических машин. 2022. № 3-4(78). С. 35–41. DOI: 10.33979/2073-7432-2022-4(78)-3-35-41.

12. Тесовский А. Ю. Пути повышения качества технического обслуживания и ремонта оборудования и машин лесозаготовок и лесного хозяйства на местах эксплуатации // Строительные и дорожные машины. 2017. № 5. С. 40–41.

13. Запруднов В. И., Карпачев С. П., Быковский М. А. Потребность парка лесосечных машин в техническом обслуживании // Лесной вестник. Forestry Bulletin. 2017. Т. 21, № 2. С. 76–79. DOI: 10.18698/2542-1468-2017-2-76-79.

14. Программное обеспечение для управления лесохозяйственным и лесозаготовительным процессами: оценка применимости / А. Н. Заикин, В. В. Сиваков, В. А. Зеликов [и др.] // Лесотехнический журнал. 2022. Т. 12, № 1(45). С. 96–109. DOI: 10.34220/issn.2222-7962/2022.1/8.

15. Multifleet by ponsse [Электронный ресурс]. URL: <https://www.ponsse.com/en/service/multifleet/#/> (дата обращения: 10.05.2023).

16. Komatsu. MaxiFleet [Электронный ресурс]. URL: <https://www.komatsuforest.ru/сервис/maxifleet> (дата обращения: 10.05.2023).

17. Система удаленного мониторинга техники JDLink [Электронный ресурс]. URL: <https://tmbk.ru/media/k2/attachments/Буклет%20Система%20удаленного%20мониторинга%20техники%20JDLink.pdf> (дата обращения: 10.05.2023).

18. Gölzer P., Fritzsche A. (2017) Data-driven operations management: organisational implications of the digital transformation in industrial practice. Production Planning and Control 28(16): 1332–1343 DOI: 10.1080/09537287.2017.1375148.

19. Tolstykh T. O., Afonin S. E. Strategic development of scientific and technical potential of industry during the digital transformation of economy. Russian Journal of Industrial Economics. 2021; 14(4): 410–417. (In Russ.). URL: <https://doi.org/10.17073/2072-1633-2021-4-410-417>.

20. Meissner H., Ilsena R., Auricha J. C. (2017). Analysis of Control Architectures in the Context of Industry 4.0//Procedia CIRP. Vol. 62. P. 165–169.

21. Kolberg D., Zühlke D. (2015). Lean Automation enabled by Industry 4.0 Technologies. December 2015 IFAC-Papers On Line 48(3): 1870–1875. DOI: 10.1016/j.ifacol.2015.06.359.

22. Erboz G. (2020). A qualitative study on industry 4.0 competitiveness in Turkey using Porter diamond model. Journal of Industrial Engineering and Management 13(2): 266. DOI: 10.3926/jiem.2915.

23. Дрыгин М. Ю. Разработка системы контроля и учета работы для карьерных экскаваторов типов драглайн и мехлопата // Вестник КузГТУ. 2020. № 1 (137). С. 29–39. DOI: 10.26730/1999-4125-2020-1-29-39.

24. Вин Зо Хтэй, Певзнер Л. Д., Темкин И. О. Алгоритмическое и аппаратное обеспечение бортовой информационной системы шагающего драглайна // ГИАБ. 2019. № 2. С. 190–196. DOI: 10.25018/0236-1493-2019-02-0-190-196.

25. Аброськин А. С. Мониторинг работы карьерных автосамосвалов на современном этапе // Вестник ИргТУ. 2015. № 3 (98). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/monitoring-raboty-kariernyh-avtosamosvalov-na-sovremennom-etape> (дата обращения: 07.02.2023).

26. Семенов М. А., Большунова О. М. Контроль загрузки карьерных автосамосвалов // Записки Горного института. 2008. Т. 178. С. 143–145. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/kontrol-zagruzki-kariernyh-avtosamosvalov> (дата обращения: 07.02.2023).

27. Gupta, Dr & Bansal, Dr & Singh, Sandeep. (2020). Application of Failure Mode Effect Analysis for Improved Scheduling in Maintenance of Machines. International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering. 9. 895–899. 10.35940/ijitee.E3025.049620.

28. Kurniawan, Rizki & Kholik, Heri. (2017). Usulan Perawatan Mesin Stitching Dengan Metode Reliability Centered Maintenance. Jurnal Teknik Industri. 16. 83. Vol. 16, No. 2. Pp. 83–91. 10.22219/JTIUMM.

29. Сравнение системы управления техническим обслуживанием и ремонтом (СУ ТО и Р) [Электронный ресурс]. URL: <https://soware.ru/categories/maintenance-management-systems> (дата обращения: 05.05.2023).

30. Дракунов И. И., Сиваков В. В., Деревягин Р. Ю. Современное программное обеспечение для управления системой технического обслуживания и ремонта автомобилей // Модернизация и научные исследования в транспортном комплексе. 2022. Т. 1. С. 30–33. EDN SHTJGY.

31. Дракунов И. И., Сиваков В. В., Заикин А. Н. Анализ программного обеспечения для управления системой технического обслуживания и ремонта автомобилей // Актуальные вопросы технической эксплуатации и автосервиса подвижного состава автомобильного транспорта : сборник научных трудов по материалам 81-й научно-методической и научно-исследовательской конференции МАДИ, Москва, 31 января – 02 2023 года. Москва : Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ), 2023. С. 91–99. EDN IUUCTA.

REFERENCES

1. Fanta E. A. Klyuchevye pokazateli effektivnosti v ispol'zovanii zapasnykh chastey kak tochki kontrolya v sisteme upravleniya proizvodstvennym predpriyatiem // Voprosy innovacionnoy ekonomiki 2019. Vol. 9. № 1. Pp. 267–274. DOI: 10.18334/vinec.9.1.39935.
2. Iovlev G. A. Mirovaya praktika organizatsii tekhnicheskogo servisa // Agropredo-vol'stvennaya politika Rossii. 2018. № 4(76). Pp. 49–53.
3. Gurskij A. S., Ivashko V. S. Ispol'zovanie transportnoj telematiki i distancionnoj diagnostiki dlya sovershenstvovaniya tekhnicheskogo obsluzhivaniya i remonta transportnykh sredstv // Izvestiya Nacional'noy akademii nauk Belarusi. Seriya fiziko-tekhnicheskikh nauk. 2020. Vol. 65, № 3. Pp. 375–383. DOI: 10.29235/1561-8358-2020-65-3-375-383.
4. Bauer H., Patel M., Veira J. (2016) The Internet of Things: sizing up the opportunity. New York (NY): McKinsey & Company. URL: <http://www.mckinsey.com/industries/high-tech/our-insights/the-internet-of-things-sizing-up-the-opportunity/>.
5. Parshina I. S., Frolov E. B. Development of a digital twin of the production system on the basis of modern digital technologies // Ekonomika v promyshlennosti = Russian Journal of Industrial Economics, 2020. Vol. 13. No. 1. Pp. 29–34. DOI: 10.17073/2072-1633-2020-1-29-34.
6. Tugengol'd A. K., Voloshin R. N., Yusupov A. R., Kruglova T. N. Tekhnicheskoe obsluzhivanie tekhnologicheskikh mashin na baze cifrovizatsii // Vestnik Donskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. 2019. Vol. 19, № 1. Pp. 74–80. DOI 10.23947/1992-5980-2019-19-1-74-80.
7. Zav'yalov A. P. Diagnosticheskoe obsluzhivanie oborudovaniya i truboprovodov neftegazovykh proizvodstv pri risk-orientirovannom podhode k ekspluatatsii // Oborudovanie i tekhnologii dlya neftegazovogo kompleksa. 2020. № 3(117). Pp.79–81. DOI 10.33285/1999-6934-2020-3(117)-79-81.
8. Bezuglov A.E., Kislicyna O.A. Klyuchevye pokazateli effektivnosti pri provedenii tekhnicheskogo obsluzhivaniya i remonta oborudovaniya // Voprosy innovacionnoy ekonomiki. 2019. Vol 9. № 4. Pp. 1501–1514. DOI: 10.18334/vinec.9.4.41208.
9. Goncharov A. B., Tulinov A. B., Perepechaj B. A., Goncharov A. A. Metody organizatsii sistemy tekhnicheskogo obsluzhivaniya i remonta oborudovaniya s cel'yu obespecheniya ego bezotkaznoj raboty // Remont. Vosstanovlenie. Modernizatsiya. 2017. № 2. Pp. 35–40.
10. Merdanov Sh. M., Konev V. V. Sovershenstvovanie organizatsii tekhnicheskogo obsluzhivaniya i remonta stroitel'no-dorozhnykh mashin // Transport i mashinostroenie Zapadnoj Sibiri. 2020. № 2. Pp. 15–21.
11. Semykina A. S., Zagorodnij N. A. Sovershenstvovanie sistemy tekhnicheskogo obsluzhivaniya i remonta kar'ernogo avtomobil'nogo transporta // Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin. 2022. № 3-4(78). Pp. 35–41. DOI 10.33979/2073-7432-2022-4(78)-3-35-41.
12. Tesovskij A. Yu. Puti povysheniya kachestva tekhnicheskogo obsluzhivaniya i remonta oborudovaniya i mashin lesozagotovok i lesnogo hozyajstva na mestah ekspluatatsii // Stroitel'nye i dorozhnye mashiny. 2017. № 5. Pp. 40–41.
13. Zaprudnov V. I., Karpachev S. P., Bykovskij M. A. Potrebnost' parka lesosechnykh mashin v tekhnicheskome obsluzhivanii // Lesnoj vestnik. Forestry Bulletin. 2017. Vol. 21. № 2. Pp. 76–79. DOI: 10.18698/2542-1468-2017-2-76-79.
14. Zaikin A. N., Sivakov V. V., Zelikov V. A., Stasyuk V. V., Chuikov A. S., Zelikova N. V. (2022) Software for management of forestry and logging processes: assessment of applicability. Lesotekhnicheskii zhurnal [Forest Engineering journal], Vol. 12, No. 1 (45), pp. 96–109 (in Russian). DOI: <https://doi.org/10.34220/issn.2222-7962/2022.1/8>.
15. Multifleet by ponsse. URL: <https://www.ponsse.com/en/service/multifleet/#/> (data obrashcheniya: 10.05.2023).
16. Komatsu. MaxiFleet. URL: <https://www.komatsu-forest.ru/сервис/maxifleet> (data obrashcheniya: 10.05.2023).
17. Sistema udalennogo monitoringa tekhniki JDLINK. URL: <https://tmbk.ru/media/k2/attachments/Буклет%20Система%20удаленного%20мониторинга%20техники%20JDLINK.pdf> (data obrashcheniya: 10.05.2023).
18. Gölzer P., Fritzsche A. (2017) Data-driven operations management: organisational implications of the digital transformation in industrial practice. Production Planning and Control 28(16): 1332–1343 DOI: 10.1080/09537287.2017.1375148.
19. Tolstykh T. O., Afonin S. E. Strategic development of scientific and technical potential of industry during the digital transformation of economy. Russian Journal of Industrial Economics. 2021; 14(4): 410–417. (In Russ.) <https://doi.org/10.17073/2072-1633-2021-4-410-417>.
20. Meissner H., Ilsena R., Auricha J. C. (2017). Analysis of Control Architectures in the Context of Industry 4.0//Procedia CIRP. Vol. 62. P. 165–169.
21. Kolberg D., Zühlke D. (2015). Lean Automation enabled by Industry 4.0 Technologies. December 2015 IFAC-Papers On Line 48(3):1870–1875. DOI: 10.1016/j.ifacol.2015.06.359.
22. Erboz G. (2020). A qualitative study on industry 4.0 competitiveness in Turkey using Porter diamond model. Journal of Industrial Engineering and Management 13(2): 266. DOI: 10.3926/jiem.2915.
23. Drygin M. Yu. Razrabotka sistemy kontrolya i ucheta raboty dlya kar'ernykh ekskavatorov tipov draglajn i mekhlopata // Vestnik KuzGTU. 2020. № 1 (137). Pp. 29–39. DOI: 10.26730/1999-4125-2020-1-29-39.
24. Vin Zo Htej, Pevzner L. D., Temkin I. O. Algoritmicheskoe i apparatnoe obespechenie bortovoj

informacionnoj sistemy shagayushchego draglajna // GIAB. 2019. № 2. Pp. 190–196. DOI: 10.25018/0236-1493-2019-02-0-190-196.

25. Abros'kin A.S. Monitoring raboty kar'ernyh avtosamosvalov na sovremennom etape // Vestnik IrGTU. 2015. № 3 (98). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/monitoring-raboty-kariernyh-avtosamosvalov-na-sovremennom-etape> (data obrashcheniya: 07.02.2023).

26. Semenov M. A., Bol'shunova O. M. Kontrol' zagruzki kar'ernyh avtosamosvalov // Zapiski Gornogo instituta. 2008. Vol. 178. Pp. 143–145. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/kontrol-zagruzki-kariernyh-avtosamosvalov> (data obrashcheniya: 07.02.2023).

27. Gupta, Dr & Bansal, Dr & Singh, Sandeep. (2020). Application of Failure Mode Effect Analysis for Improved Scheduling in Maintenance of Machines. International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering. 9. 895–899. 10.35940/ijitee.E3025.049620.

28. Kurniawan, Rizki & Kholik, Heri. (2017). Usulan Perawatan Mesin Stitching Dengan Metode Reliability Centered Maintenance. Jurnal Teknik Industri. 16. 83. Vol. 16. No. 2. Pp. 83–91. 10.22219/JTIUMM.

29. Sravnenie sistemy upravleniya tekhnicheskimi obsluzhivaniem i remontom (SU TO i R). URL: <https://soware.ru/categories/maintenance-management-systems> (data obrashcheniya: 05.05.2023).

30. Drakunov I. I., Sivakov V. V., Derevyagin R. Yu. Sovremennoe programmnoe obespechenie dlya upravleniya sistemoy tekhnicheskogo obsluzhivaniya i remonta avtomobilej // Modernizaciya i nauchnye issledovaniya v transportnom komplekse. 2022. Vol. 1. Pp. 30–33. EDN SHTJGY.

31. Drakunov I. I., Sivakov V. V., Zaikin A. N. Analiz programmnoho obespecheniya dlya upravleniya sistemoy tekhnicheskogo obsluzhivaniya i remonta avtomobilej // Aktual'nye voprosy tekhnicheskoy ekspluatacii i avtoservisa podvizhnogo sostava avtomobil'nogo transporta: Sbornik nauchnyh trudov po materialam 81-oj nauchno-metodicheskoy i na-uchno-issledovatel'skoj konferencii MADI, Moskva, 31 yanvarya – 02 2023 goda. Moskva : Moskovskij avtomobil'no-dorozhnyj gosudarstvennyj tekhnicheskij universitet (MADI), 2023. Pp. 91–99. EDN IUUCTA.

© Сиваков В. В., 2024

Поступила в редакцию 31.05.2023

Принята к печати 22.01.2024