

Обзор

DOI: <https://doi.org/10.34220/issn.2222-7962/2023.2/6>

УДК 630*233



Программное обеспечение для управления системой технического обслуживания и ремонта лесных машин: оценка применимости

Анатолий Н. Заикин¹, zaikin.anatolij@yandex.ru  <https://orcid.org/0000-0002-1831-6893>

Владимир В. Сиваков¹, sv@bgitu.ru  <https://orcid.org/0000-0002-0175-9030>

Татьяна П. Новикова², novikova_tp.vglta@mail.ru  <https://orcid.org/0000-0003-1279-3960>

Владимир А. Зеликов², zelikov-vrn@mail.ru  <https://orcid.org/0000-0003-2317-9413>

Владимир В. Стасюк ², stasiuk.volodya@yandex.ru  <https://orcid.org/0000-0002-8689-955X>

Алексей С. Чуйков³, offlex88@belstu.by  <https://orcid.org/0000-0002-6923-7212>

¹ФГБОУ ВО «Брянский государственный инженерно-технологический университет», пр. Станке Димитрова, 3, г. Брянск, 241037, Российская Федерация

²ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова», ул. Тимирязева, 8, г. Воронеж, 394087, Российская Федерация

³Учреждение образования «Белорусский государственный технологический университет», ул. Свердлова, 13а, г. Минск, 220006, Республика Беларусь

Современные предприятия лесного комплекса являются сферой производства, в которую для повышения эффективности все активнее внедряются информационные технологии. Для повышения эффективности технического обслуживания и ремонта лесных машин для лесопромышленных и лесохозяйственных производств необходимо оценить возможность применения специализированного программного обеспечения в лесохозяйственных и лесозаготовительных производствах. Для сравнения функциональных возможностей и возможностей развертывания рассмотрены различные программы отечественных и иностранных производителей, используемые как для автоматизации ремонтных работ, так и для управления техническим обслуживанием и ремонтом. Проведена сравнительная оценка сходства и различия программных продуктов, базирующаяся на кластерном анализе бинарных данных, интерпретированных методом межгрупповых связей с использованием меры Жаккара. В силу специфики лесохозяйственных предприятий (лесные машины находятся на значительном удалении от сервисной базы) для мониторинга технического состояния необходимо, чтобы лесные машины были оборудованы диагностической системой и средствами передачи данных. При выборе же конкретного программного обеспечения необходимо опираться на такие параметры, как размер предприятия лесного комплекса, его потребности, финансовые возможности. Программное обеспечение должно встраиваться в единое информационное пространство, позволяющее применить технологию цифровых двойников.

Ключевые слова: программное обеспечение, лесные машины, техническое обслуживание и ремонт, лесной комплекс, лесовосстановительные работы, лесозаготовки, информационное пространство.

Финансирование: данное исследование не получало внешнего финансирования.

Благодарности: авторы благодарят рецензентов за вклад в экспертную оценку статьи.

Конфликт интересов: авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Программное обеспечение для управления системой технического обслуживания и ремонта лесных машин: оценка применимости / А. Н. Заикин, В. В. Сиваков, Т. П. Новикова, В. А. Зеликов, В. В. Стасюк, А. С. Чуйков // Лесотехнический журнал. – 2023. – Т. 13. – № 2 (50). – С. 105–127. – Библиогр.: с. 117–126 (69 назв.). – DOI: <https://doi.org/10.34220/issn.2222-7962/2023.2/6>.

Поступила 17.06.2023. *Пересмотрена* 11.08.2023. *Принята* 12.08.2023. *Опубликована онлайн* 18.09.2023.

Review

Software for managing of maintenance and repair system of forest machines: assessment of applicability

Anatolii N. Zaikin¹, zaikin.anatolij@yandex.ru  <https://orcid.org/0000-0002-1831-6893>

Vladimir V. Sivakov¹, sv@bgitu.ru  <https://orcid.org/0000-0002-0175-9030>

Tatyana P. Novikova², novikova_tp.vglta@mail.ru  <https://orcid.org/0000-0003-1279-3960>

Vladimir A. Zelikov², zelikov-vrn@mail.ru  <https://orcid.org/0000-0003-2317-9413>

Vladimir V. Stasyuk² , stasiuk.volodya@yandex.ru  <https://orcid.org/0000-0002-8689-955X>

Alexey S. Chuikov³, offlex88@belstu.by  <https://orcid.org/0000-0002-6923-7212>

¹*Bryansk State Engineering and Technological University, 3 Stanke Dimitrova Avenue, Bryansk, 241037, Russian Federation*

²*Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, 8, Timiryazeva street, Voronezh, 394087, Russian Federation*

³*Belarussian State Technological University, 13a Sverdlova str., Minsk, 220006, Belarus*

Abstract

Modern enterprises of the forest complex are a sphere of production, in which information technologies are increasingly being introduced to increase efficiency. To improve the efficiency of maintenance and repair of forest machines for forestry and forestry industries, it is necessary to evaluate the possibility of using specialized software in forestry and logging industries. To compare the functionality and deployment capabilities, various programs of domestic and foreign manufacturers are considered, used both for automating repair work and for managing maintenance and repair. A comparative assessment of the similarities and differences of software products based on cluster analysis of binary data interpreted by the method of intergroup relations using the Jaccard measure is carried out. Due to the specifics of forestry enterprises (forest machines are located at a considerable distance from the service base), in order to monitor the technical condition, it is necessary that forest machines be equipped with a diagnostic system and data transmission facilities. When choosing a specific software, it is necessary to rely on such parameters as the size of the enterprise of the forest complex, its needs, financial capabilities. The software should be integrated into a single information space that allows the use of digital twin's technology.

Keywords: *software, forest machines, maintenance and repair, forest complex, reforestation, logging, information space.*

Funding: this research received no external funding.

Acknowledgments: authors thank the reviewers for their contribution to the peer review.

Conflict of interest: the authors declare no conflict of interest.

For citation: Zaikin A. N., Sivakov V. V., Novikova T. P., Zelikov V. A., Stasyuk V. V., Chuikov A. S. Software for managing the system of maintenance and repair of forest machines: assessment of applicability (2023). *Lesotekhnicheskii zhurnal* [Forestry Engineering journal], Vol. 13, No. 2 (50), pp. 105-127 (in Russian). DOI: <https://doi.org/10.34220/issn.2222-7962/2023.2/6>.

Received 17.06.2023. *Revised* 11.08.2023. *Accepted* 12.08.2023. *Published online* 18.09.2023.

Введение

Современные предприятия, осуществляющие заготовку и переработку древесины, как правило, являются комплексными. Кроме основных работ, связанных с заготовкой и обработкой [31;33] лесоматериалов, предприятия проводят работы по лесовосстановлению [48;54], строительству и содержанию дорог и другие сопутствующие работы. Эти предприятия при выполнении всех операций производственного процесса вынуждены использовать транспортно-технологические машины и оборудование различного назначения. Машины и оборудование для лесосечных работ (харвестеры, форвардеры, скиддеры, валочно-пакетирующие машины, машины для обрезки ветвей [19] и др.); вывозки заготовленного леса (автопоезда на базе тягачей типа Урал, КаМАЗ, МАЗ, транспортно-грузовые дирижабли [50] и др.); лесовосстановления (машины для обработки семян [39;40;43;44], машины для подготовки почвы [42], сеялки [41;46;53], лесопосадочные [37;38], лесопожарные [20;21] машины); дорожного строительства (бульдозеры, автогрейдеры, экскаваторы и др.) предприятия покупают у различных дилеров. Отмеченные машины являются сложными техническими системами [58] с современной электронной компонентной базой [45;47;60] и средствами ее разработки [61;63], требуют регулярной оценки эксплуатационной технологичности [52], регулярного технического обслуживания и ремонта, от их технического состояния и оптимального распределения работ ТО и Р по исполнителям [58;59], использовании оптимальных алгоритмов для логистики запасных частей [1;57] технического обслуживания и ремонта зависит качество и эффективность лесохозяйственного и лесопромышленного производств [1]. А.С. Гурский и В.С. Ивагшко (2020), отмечают, что «для решения

проблемы контроля за состоянием лесных машин была создана система планово-предупредительного технического обслуживания и ремонта» [7] (ППТО, ППП), а также ряд других систем – ориентированные на надежность (RCM); обслуживание, ориентированное на предотвращение рисков (RBI); ремонт по состоянию [2,3].

Каждая из систем имеет свои достоинства и недостатки [4], при этом авторы предлагают в качестве основной системы, например, для строительно-дорожных машин применить систему «ремонт по состоянию», что требует большой диагностической базы и подготовленного персонала [5,6].

Необходимо отметить, что в условиях реального производственного предприятия задача поддержания работоспособности машин и оборудования является сложно реализуемой вследствие необходимости учета большого числа факторов, учитывающих как условия работы, так и их реальное техническое состояние, поэтому в настоящее время предлагается более широко применять информационные технологии [55], телематику и дистанционную диагностику [7], методы имитационного моделирования работы оборудования [8, 9] и другие.

Область функционирования предприятия вносит свои требования обеспечения эффективности работы машин и оборудования. Например, для лесозаготовительных, лесохозяйственных предприятий характерно использование лесных машин, которые эксплуатируются на значительных удалениях от сервисной базы предприятий, поэтому проведение мероприятий в рамках технических обслуживаний, в том числе ежесменных, на самом предприятии затруднено, большинство операций проводятся оператором (водителем), что может привести к некачественному обслуживанию или же вовсе к его пропуску вследствие слабого контроля прово-

димых мероприятий. Такая ситуация ведет к ускорению изнашивания [51] узлов и агрегатов [49] машин, быстрому выходу их из строя, что приводит к вынужденным простоям и ремонтам.

При необходимости проведения планового технического обслуживания, а также ремонта, на место работы или стоянки техники выезжает мобильная ремонтная бригада, как правило, официального дилера [64], вследствие того, что техника сложная и требует соответствующего уровня квалификации персонала, оригинальных запчастей и технологических жидкостей. Широкое применение электронных систем также обуславливает необходимость их диагностирования и настройки, для чего нужно фирменное диагностическое оборудование и сканеры, доступ к порталу с технической информацией производителя машины, что также возможно только для официальных дилеров

В связи с цифровизацией экономики [10, 11] и переходом на новый технологический уклад [12, 13, 14] особую значимость приобретает задача широкого внедрения цифровых двойников, позволяющих создать цифровую копию физических объектов и, посредством технологии «Интернета вещей» [15, 16], получать информацию о состоянии объекта в режиме реального времени.

Усложнение техники, ее компьютеризация [17] приводит к повышению расходов на ТО и Р, потерям, связанным с простоями оборудования, поэтому, для их снижения, разработано специализированное программное обеспечение, применяемое как для автоматизации ремонтных работ на предприятии (в основном, относится к специализированным сервисным предприятиям), так и организации процесса ТО и Р (рис. 1, 2), которые должны работать в рамках единой цифровой модели.

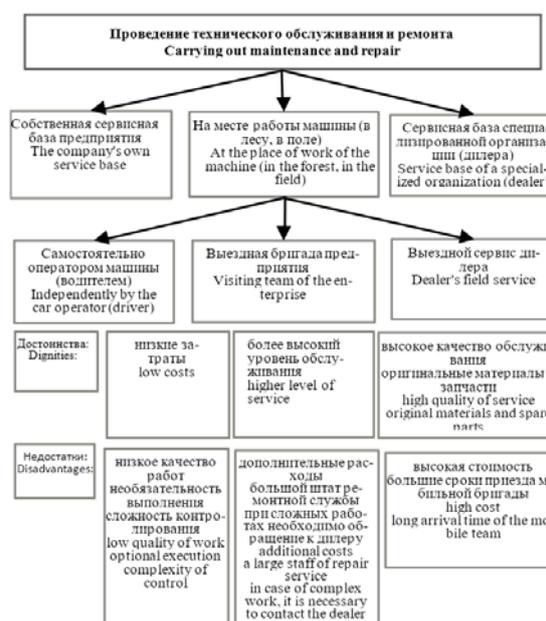


Рисунок 1. Возможность проведения ТО и Р
Источник: Собственная схема авторов
Figure 1. Possibility of maintenance and Repair
Source: Authors' own scheme



Рисунок 2. Специализированное программное обеспечение ремонтных работ
Источник: Собственная схема авторов
Figure 2. Specialized repair software
Source: Authors' own scheme

Цель данной работы – оценка применимости программного обеспечения для управления системой технического обеспечения и ремонта на предприятиях лесного комплекса, которые эксплуатируют транспортно-технологические машины.

Материалы и методы

Объект исследования

Программные продукты, используемые как при автоматизации ремонтных работ на предприятиях лесного комплекса, так и управлении техническим обслуживанием и ремонтом лесных машин.

Сбор данных

Проводили систематический поиск, используя базы данных ELibrary.ru и LENS, формированием следующих алгоритмов запроса:

1. [Scholar Query = "программные продукты | Software" AND "автоматизация ремонтных работ | automation of repair work" | Filters: Published Date = (2013-01-01 - 2023-05-01)] для предприятия, специализированного на сервисном обслуживании;

2. [Scholar Query = "Техническое обслуживание и ремонт | maintenance and repair" AND "системы управления | management system" | Filters: Published Date = (2013-01-01 - 2023-05-01)] на предприятии для управления собственной сервисной службой.

Анализ данных

По аналогии с А.Н. Заикиным и соавторами (2022), «из систематического поиска были отобраны наиболее часто применяемые программные продукты и оценена в программном обеспечении для статистических вычислений SPSS Statistics v25 степень их сходства и различия по параметрам» [17]: уровня их применения, модульности построения, развертывания, функциональных возможностей, а также возможности реализации технологии

интернета вещей. Визуализацию оценочных данных осуществляли диаграммой, по оси абсцисс которой откладывали меру Жаккара (Jaccard) для бинарных данных (0 – отсутствие; 1 – наличие), вычисленную по методу межгрупповой связи, а по оси ординат – критерии оценки (см. табл. 2 и 3).

Результаты и обсуждение

В целом, для организации ремонта лесных машин на предприятиях лесного комплекса применяется следующее специализированное программное обеспечение:

- каталоги запчастей, основанные на визуализации конструкции машины и входящих в них деталей (как правило, для создания применяются CAD программы);
- нормы времени на выполнение ремонтных работ (базы данных);
- технология проведения диагностирования и ремонта (базы данных);
- программы для автоматизации организации производственных процессов на предприятии (интегрируют данные из всех перечисленных отдельных источников и направлены на автоматизацию деятельности) (рис. 3).

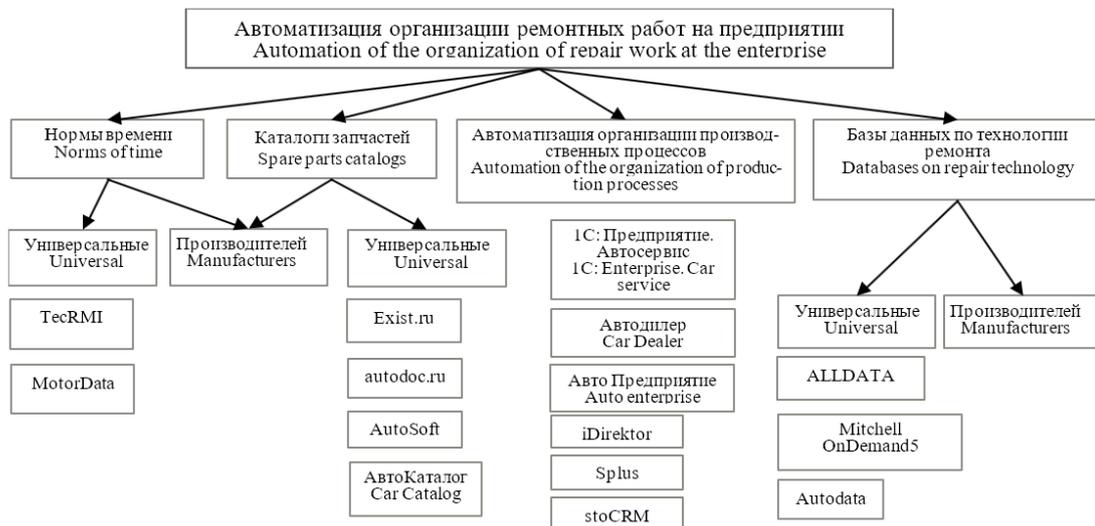


Рисунок 3. Специализированное программное обеспечение, применяемое для автоматизации деятельности участка ТО и Р лесохозяйственных, лесозаготовительных и лесоперерабатывающих производств
Figure 3. Specialized software used to automate the activities of the M&R site of forestry, logging and timber processing industries

Источник: Собственная схема авторов
Source: Authors' own scheme

Представленные на рис. 3 компьютерные программы содержат перечень опций, необходимых для автоматизации деятельности участка ТО и Р лесных машин лесохозяйственных, лесозаготовительных и лесоперерабатывающих производств:

- ведение базы клиентов;
- интеграция с каталогами работ и нормами времени;
- организация работы и планирование загрузки;
- планирование снабжения и закупок;
- организация производственной деятельности;
- формирование необходимых печатных форм документов.

Наиболее известными в РФ программным продуктом такого рода является программы «1С: Предприятие 8. Автосервис» (<https://solutions.1c.ru/catalog/autoservice/buy>) (рис. 4), «Автодилер» (<https://autodealer.ru/solution>) в соответствии с рис. 5 и ряд других, менее функциональных и простых, например:

- stoCRM (узкоспециализированная Online CRM);
- iDirector (онлайн CRM для автосервисов);
- Splus (онлайн программа для автосервиса);
- АвтоПредприятие.

Кроме того, разрабатывается и другое программное обеспечение, о чем свидетельствуют работы С.В. Репина¹⁶ (2007), Е.В. Пухова и Я.В. Комарова (2016) [23].

¹⁶ Репин С.В. Разработка информационной автоматизированной системы управления техническим обслуживанием и ремонтом строительных машин / С. В. Репин, С. А. Скакун // Строительные и дорожные машины. 2007. №11. С.20-25.

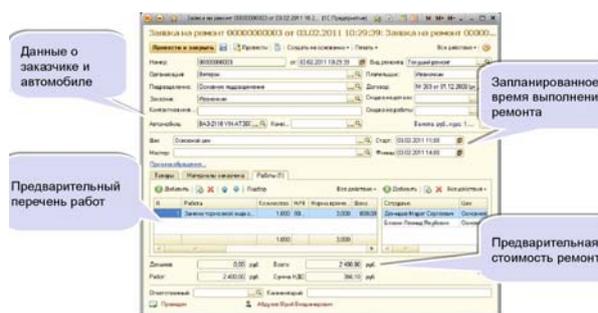


Рисунок 4. Составление заказ-наряда в программе 1С: Предприятие 8. Автосервис

Figure 4. Drawing up an order order in the 1C: Enterprise 8 program. Auto repair

Источник: Собственная схема авторов
Source: Authors' ownscheme

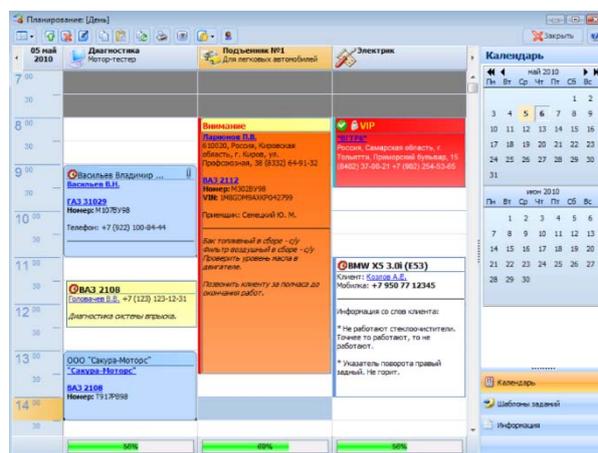


Рисунок 5. Планирование работ в программе Автодилер

Figure 5. Work planning in the Car Dealer program
Источник: Собственная схема авторов

Source: Authors' ownscheme

Вышеперечисленные программы являются общими для всех предприятий, эксплуатирующих транспортно-технологические машины, однако на лесозаготовительных, лесохозяйственных предприятиях данный класс программного обеспечения практически не используется в силу их специфики, направленной на организацию ремонтных работ, оказываемых сторонним потребителям.

Существует и более функциональное программное обеспечение, направленное на автоматизацию

защиту системы технического обслуживания и ремонта (рис. 6).

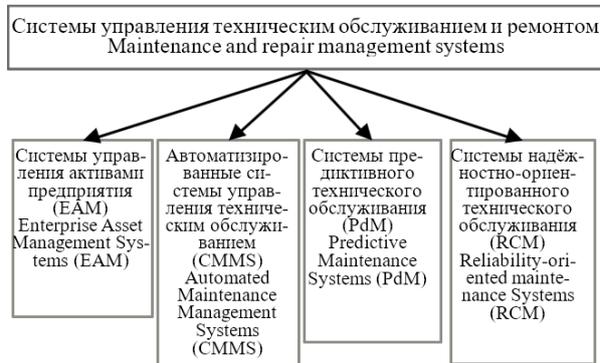


Рисунок 6. Классификация систем управления техническим обслуживанием и ремонтом по способу управления

Figure 6. Classification of maintenance and repair management systems

Источник: Собственная схема авторов
Source: Authors' own scheme

Информационные EAM-системы ТО и Р реализуют возможности управления жизненным циклом лесных машин, их отремонтированных узлов и агрегатов и обслуживаемых компонентов.

Информационные CMMS-системы ТО и Р лесных машин помогают планировать и контролировать затраты на выполнение и распределение работ по ТО и Р с конечной целью продления срока службы актива при минимальных затратах.

Информационные PdM-системы ТО и Р предназначены для предиктивного управления процессом технического обслуживания лесных машин на основе полученных данных о текущем

техническом состоянии и уровне наступления следующего обслуживания с помощью детектирования и машинного зрения.

Информационные RCM-системы [36;65] предназначены для робастного управления ТО и Р по ключевым параметрам вероятности отказов и готовности узлов и агрегатов лесных машин, основанных на теории надежности. RCM-системы работают в направлении сокращения рисков ТО и Р лесных машин, а также оптимального распределения работ [24-26].

Наиболее популярное применяемое в этой области программное обеспечение представлено в табл. 1.

Системы управления ТО и Р могут быть развернуты как на базе сервера или облака [62], так и на мобильных устройствах (рис. 7), что ускоряет и упрощает процесс ввода информации в систему.



Рисунок 7. Информационные системы управления ТО и Р лесных машин в зависимости от локализации

Figure 7. Information management M&R-systems for forest machines depending on localization

Источник: Собственная схема авторов
Source: Authors' own scheme

Таблица 1

Классификация информационных систем ТО и Р лесных машин по категориям программного обеспечения

Table 1

Classification of M&R information systems of forest machines by software categories

Наименование программного обеспечения Software title	Системы управления активами предприятия (EAM) Enterprise Asset Management Systems (EAM)	Автоматизированные системы управления техническим обслуживанием (CMMS) Automated Maintenance Management Systems (CMMS)	Системы предиктивного технического обслуживания (PdM) Predictive Maintenance Systems (PdM)	Системы надёжно-ориентированного технического обслуживания (RCM) Reliability-oriented maintenance Systems (RCM)	Группа Group
IC:ТОИР	+	+	+	+	1
NERPA EAM	+	+	+		2
Infor EAM	+	+	+		
F5 EAM	+	+	+		
Ellipse EAM	+	+	+		
TRIM	+	+		+	

Технологии. Машины и оборудование

Наименование программного обеспечения Software title	Системы управления активами предприятия (EAM) Enterprise Asset Management Systems (EAM)	Автоматизированные системы управления техническим обслуживанием (CMMS) Automated Maintenance Management Systems (CMMS)	Системы предиктивного технического обслуживания (PdM) Predictive Maintenance Systems (PdM)	Системы надёжно-ориентированного технического обслуживания (RCM) Reliability-oriented maintenance Systems (RCM)	Группа Group
Галактика EAM	+	+		+	
HubEx	+	+			3
openMAINT	+	+			
Seascope	+	+			
Global-EAM	+	+			
F5 PMM		+	+		
1С:RCM Управление надёжностью			+	+	
IBM Maximo	+		+		
SAP Predictive Maintenance and Service	+				4
CalemEAM	+				
EcoStruxure	+				
SAP Asset Intelligence Network	+				
Rubius DrEAM	+				
Oracle Enterprise Asset Management	+				
IFS Enterprise Asset Management	+				
Planny24		+			
робоТОиР		+			
AMOS Maintenance and Procurement		+			
UpKeep		+			
КСУТО		+			
ТУРБО ТОРО		+			
RealMaint TORO		+			
TOPS Consulting: ТОиР		+			

Источник: Сравнение системы управления техническим обслуживанием и ремонтом (СУ ТО и Р). – URL: <https://soware.ru/categories/maintenance-management-systems> (Дата обращения: 05.01.2023).

Source: URL: <https://soware.ru/categories/maintenance-management-systems>

Наибольшими возможностями обладает программное обеспечение, входящее как минимум в две категории – (HubEx, openMAINT, IBM Maximo, Seascope, SAP Predictive Maintenance and Service, F5 PMM) – группа 3. Попадание программного обеспечения в три категории расширяет их функциональные возможности (NERPA EAM, TRIM, Infor EAM, F5 EAM) – группа 2. Лидером же является 1С:ТОиР – группа 1, позволяющая как учитывать производственные активы, так и осуществлять контроль технического состояния оборудования в реальном времени (IoT), а также интегрировать все данные с ERP^{17,18} системой 1С.

¹⁷ 1С:ТОиР [Электронный ресурс] // URL: <https://1coir.ru/> (Дата обращения: 05.01.2023).

¹⁸ NERPA EAM - система управления основными фондами и активами предприятия. URL: <https://www.novosoft.ru/nerpa/eam> (Дата обращения: 05.01.2023).

Размер предприятия оказывает определяющее влияние, как на функционал программного обеспечения, так и на системные требования к оборудованию, стоимости лицензии. Рассмотренное программное обеспечение охватывает разные виды предприятий (рис. 8) и может использоваться как самостоятельно индивидуальным предпринимателем [22], так и в рамках единой информационной системы предприятия. С точки зрения интеграции с системами управления, необходимо выделить возможность применения ПО как на базе отечественных систем – 1С (1С:ТОиР, 1С:RCM Управление надёжностью), Галактика (Галактика EAM), так и на базе иностранного ПО – IBM (IBM Maximo), SAP (SAP Predictive Maintenance and Service, SAP Asset Intelligence Network), Oracle (Oracle Enterprise Asset Management).

Функциональные возможности программного обеспечения групп 1, 2 и 3, как наиболее эффективных, представлены в таблице 2, а визуализация данных иерархического анализа на рис. 9, а и б. Перечень и классификационные признаки данных программ, специализирующихся на цифровизации системы технического обслуживания и ремонта, представлены в табл. 3, а визуализация данных иерархического анализа на рис. 10, а и б.

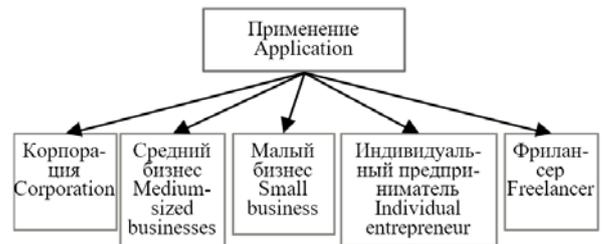


Рисунок 8. Классификация систем управления техническим обслуживанием и ремонтом по размеру предприятия

Figure 8. Classification of maintenance and repair management systems by enterprise size

Источник: Собственная схема авторов
Source: Authors' own scheme

Таблица 2

Сравнение функциональных возможностей программного обеспечения для управления техническим обслуживанием и ремонтом

Table 2

Comparison of the functionality of maintenance and repair management software

Название программы	Функции программы*															
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	XIII	XIV	XV	XVI
1С:ТОиР	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1
NERPA EAM	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1
Infor EAM	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	0
F5 EAM	1	1	1	0	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1
Ellipse EAM	1	1	1	1	0	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	0
TRIM	1	0	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1
Галактика EAM	1	0	1	0	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1
HubEx	1	0	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1
openMAINT	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
Seascape	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Global-EAM	1	0	1	0	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	0
F5 PMM	0	1	1	0	0	1	0	0	1	0	1	0	0	1	1	1
1С:RCM Управление надежностью	1	1	1	0	1	0	0	0	1	0	1	0	0	1	1	1
IBM Maximo	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	0
SAP Predictive Maintenance and Service	1	1	1	1	0	1	1	0	1	0	1	0	1	1	1	0

*1– Планирование ТОиР; 2 – Предиктивное обслуживание; 3 – Администрирование; 4 – Контроль освидетельствований; 5 – Хранение технической документации; 6 – Ведение данных оборудования; 7 – Хранение истории работ ТО и Р; 8 – Функциональная 3D-модель оборудования; 9 – Многопользовательский доступ; 10 – Планово-предупредительное обслуживание; 11 – Модель структуры оборудования; 12 – Управление запасами и

хранением ЗИП; 13 – Управление работами; 14 – Отчётность и аналитика; 15 – Многопользовательский доступ; 16 – Включено в реестр российского ПО

*1– MRO planning; 2 – Predictive maintenance; 3 – Administration; 4 – Inspection control; 5 – Storage of technical documentation; 6 – Maintenance of equipment data; 7 – Storage of the history of maintenance and repair work; 8 - Functional 3D model of equipment; 9 – Multi-user access; 10 – Scheduled preventive maintenance; 11 – Equipment structure model; 12 – Spare parts inventory and storage management; 13 – Work management; 14 – Reporting and analytics; 15 – Multi-user access; 16 - Included in the register of Russian software

Источник: собственные данные авторов

Source: authors' own data

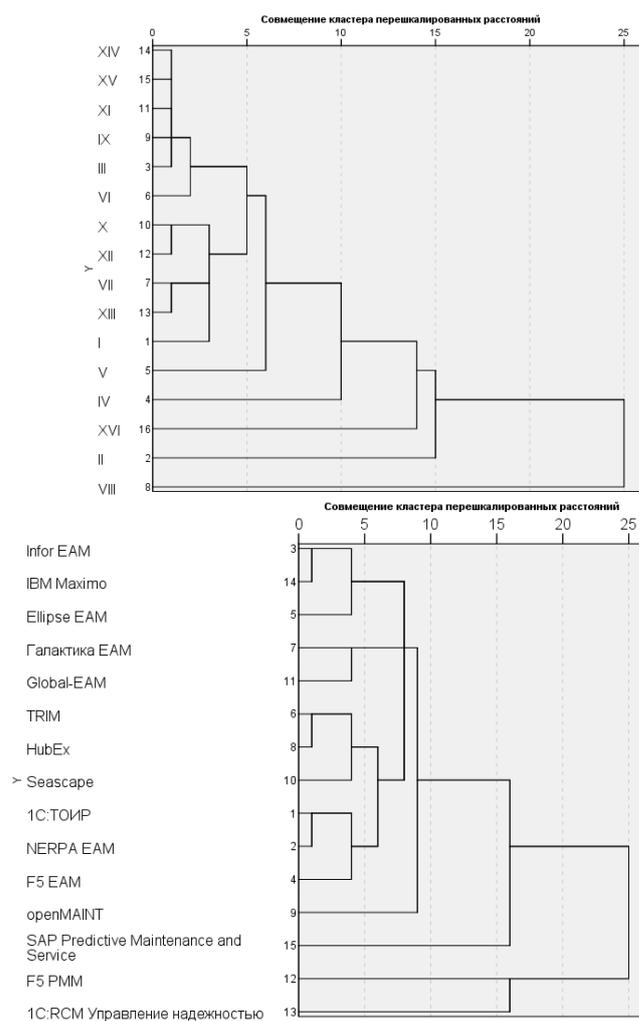


Рисунок 9. Диаграмма сходства и различия для оценки применимости систем управления техническим обслуживанием и ремонтом лесных машин по критериям функциональных возможностей I-XVI (а) и типу программного обеспечения (б)

Figure 9. Diagram of similarities and differences for assessing the applicability of forest machinery maintenance and repair management systems according to the criteria of functionality I-XVI (a) and type of software (b)

Источник: собственные результаты авторов

Source: own results

Таблица 3

Сравнительные данные программного обеспечения для управления техническим обслуживанием и ремонтом

Table 3

Comparative data of maintenance and repair management software

Название программы Name of the program	Предназначение Destiny				Графический интерфейс Graphical interface					Развертывание Deployment				Поддержка промышленного интернета вещей (IIoT) Industrial Internet of Things (IIoT) support	Интеграция с корпоративными системами Integration with corporate systems
	I	II	III	IV	V	VI	VI I	VII I	IX	X	XI	XII	XII I	XIV	XV
1С:ТОИР	1	1	0	0	1	1	1	0	0	1	1	0	1	1	1С
NERPA EAM	1	1	1	0	0	1	1	1	0	1	0	0	1	1	1
Infor EAM	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1
F5 EAM	1	1	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	1	1
Ellipse EAM	1	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	1	1	1	1
TRIM	1	1	1	0	0	1	0	1	0	1	1	1	1	0	1
Галактика EAM	1	1	0	0	1	1	0	1	1	1	1	1	0	0	1
HubEx	0	1	1	1	0	0	0	1	0	1	0	1	1	0	1
openMAINT	0	0	1	1	0	0	0	1	1	0	0	1	0	0	1
Seascape	1	1	1	0	0	1	1		1	1	1	1	0	1	1
Global-EAM	1	1	1	1	0	1	0	1	0	1	1	0	0	0	1
F5 PMM	1	1	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	1	1
1С:RCM Управление надежностью	1	1	0	0	1	1	1	1	0	1	1	0	1	1	1С
IBM Maximo	1	1	0	0	1	1	1	1	0	1	0	0	1	1	1
SAP Predictive Maintenance and Service	1	1	0	0	1	0	0	1	1	1	0	1	1	1	1, SAP

*1 – корпорация; 2 – средний бизнес; 3 – малый бизнес; 4 – Индивидуальный предприниматель; 5 – macOS; 6 – Windows; 7 – Linux; 8 – Веб-браузер; 9 – Android; 10 – Сервер предприятия; 11 – Персональный компьютер; 12 – Мобильное устройство; 13 – Облако (SaaS)

*1 – corporation; 2 – medium business; 3 – small business; 4 – Individual entrepreneur; 5 – macOS; 6 – Windows; 7 – Linux; 8 – Web browser; 9 – Android; 10 – Enterprise Server; 11 – Personal computer; 12 – Mobile device; 13 – Cloud (SaaS)

Источник: собственные данные авторов

Source: authors' own data

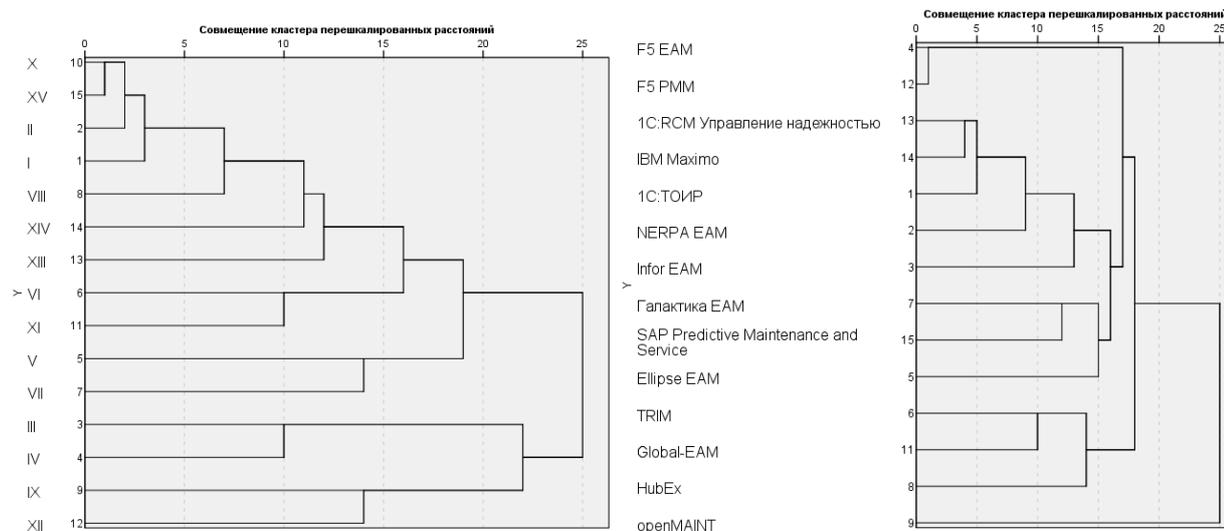


Рисунок 10. Диаграмма сходства и различия для оценки применимости систем управления техническим обслуживанием и ремонт лесных машин по критериям назначения, интерфейса, развертывания, поддержки интернета вещей и интеграции с корпоративными системами I-XV (а) и типу программного обеспечения (б)

Figure 10. Diagram of similarities and differences for assessing the applicability of forest machinery maintenance and repair management systems according to the criteria of purpose, interface, deployment, Internet support, and integration with corporate systems I-XV (a) and type of software (b)

Источник: собственные результаты авторов

Source: own results

Назревшая необходимость перехода технического обслуживания и ремонта машин на новый технологический уклад подтверждается примерами внедрения, например, в сельское хозяйство [27-30] как наиболее насыщенное машинами производство, разработкой «алгоритмов и моделей функционирования информационных систем для малых сельскохозяйственных предприятий» [56]. Целесообразно применение такого подхода и для транспортных и дорожно-строительных компаний, лесозаготовительных предприятий [33-35] и многих других, т.к. задача снижения расходов на поддержание исправного состояния транспортно-технологических машин и оборудования актуальна для всех предприятий.

Заключение

Вопросам цифровизации технического обслуживания и ремонта лесных машин в последнее время уделяют большое внимание. В связи с этим разработанное программное обеспечение применяется как для решения отдельных задач, связанных с

упрощением работы ремонтных организаций, так и для управления активами и автоматизации организации процесса управления техническим обслуживанием и ремонтом предприятий, которые эксплуатируют транспортно-технологические машины. Рассмотренное программное обеспечение представлено, как отечественными, так и зарубежными компаниями, разработано для разных операционных систем и обеспечивает функционирование на различном оборудовании.

Лесозаготовительные и лесохозяйственные предприятия имеют специфику эксплуатации и, следовательно, организации технического обслуживания и ремонта лесных машин. Они часто находятся на значительном удалении от основной сервисной базы, что требует особого учета и контроля технического состояния и сервисного обслуживания. Его выполнение осуществляется оператором, выездной бригадой предприятия или официального дилера. Для автоматического мониторинга их технического состояния необходимо, чтобы транспортно-технологические машины были оборудова-

ны диагностической системой и средствами передачи данных.

Выбор конкретного программного продукта должен осуществляться исходя из размеров предприятия, его потребностей, финансовых возможно-

стей. Одно из главных условий – программное обеспечение должно иметь возможность встраивания в единое информационное пространство, позволяющее применить технологию цифровых двойников.

Список литературы

1. Фанта Е.А. Ключевые показатели эффективности в использовании запасных частей как точки контроля в системе управления производственным предприятием // Вопросы инновационной экономики. 2019. Т. 9. № 1. С. 267-274. doi: 10.18334/vinec.9.1.39935. – <https://www.elibrary.ru/bvgqyu>.
2. 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/vinec.9.4.41208. – <https://www.elibrary.ru/sblmtr>.
3. Методы организации системы технического обслуживания и ремонта оборудования с целью обеспечения его безотказной работы / А. Б. Гончаров, А. Б. Тулинов, Б. А. Перепечай, А. А. Гончаров // Ремонт. Восстановление. Модернизация, 2017. № 2. – С. 35-40. – <https://www.elibrary.ru/xwufft>.
4. Дорохин С.В. Критический анализ методов определения рациональных режимов технического обслуживания и ремонта / С. В. Дорохин, И. Н. Кравченко, П. Г. Ларин // Ремонт. Восстановление. Модернизация. 2015. № 6. С.44-48. – <https://www.elibrary.ru/txnspsb>.
5. Мерданов Ш. М. Совершенствование организации технического обслуживания и ремонта строительно-дорожных машин / Ш. М. Мерданов, В. В. Конев // Транспорт и машиностроение Западной Сибири. 2020. № 2. С.15-21. – <https://www.elibrary.ru/sdcdrf>.
6. Семькина А С. Совершенствование системы технического обслуживания и ремонта карьерного автомобильного транспорта / А. С. Семькина, Н. А. Загородний // Мир транспорта и технологических машин. 2022. № 3-4(78). С.35-41. DOI 10.33979/2073-7432-2022-4(78)-3-35-41. – <https://www.elibrary.ru/zcciwtr>.
7. Гурский, А. С. Использование транспортной телематики и дистанционной диагностики для совершенствования технического обслуживания и ремонта транспортных средств / А. С. Гурский, В. С. Ивашко // 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. – <https://www.elibrary.ru/fyllbw>.
8. Апрышкин Д. С. Совершенствование программы технического обслуживания пассажирских лифтов на основе имитационного моделирования режимов их работы / Д. С. Апрышкин, Г. Ш. Хазанович, В. О. Гутаревич // Advanced Engineering Research. 2021. Т.21, № 2. С.171–183. – <https://doi.org/10.23947/2687-1653-2021-21-2-171-183>. – <https://www.elibrary.ru/fjczka>.
9. Управление техническим обслуживанием и ремонтом на автотранспортном предприятии с использованием имитационного моделирования / И. В. Макарова, П. А. Буйвол, Л. М. Габсалихова, Э. М. Мухаметдинов // АвтоГазоЗаправочный комплекс + Альтернативное топливо. 2020. Т.19. №1. С.10-15. – <https://elibrary.ru/vcneax>.
10. 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
11. Толстых, Т. О. Стратегическое развитие научно-технического потенциала промышленности в условиях цифровой трансформации экономики / Т. О. Толстых, С. Е. Афонин // Экономика промышленности. – 2021. – Т. 14, № 4. – С. 410-417. – DOI: <https://doi.org/10.17073/2072-1633-2021-4-410-417>. – <https://elibrary.ru/txtgve>.

12. Meissner, H. Analysis of Control Architectures in the Context of Industry 4.0 / H. Meissner, R. Ilsen, J. C. Aurich // *Procedia CIRP*. – 2017. – Vol. 62. – P. 165-169. – DOI: <https://doi.org/10.1016/j.procir.2016.06.113>.
13. Kolberg D., Zühlke D. (2015). Lean Automation enabled by Industry 4.0 Technologies // *IFAC-PapersOnLine* 48(3):1870-1875. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2015.06.359>.
14. 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: <https://doi.org/10.3926/jiem.2915>.
15. Research on early forest fire detection based on the internet of things and spectrum analysis / S. Zhang, Y. Li, D. Gao, Z. Guan // *Journal of Forestry Engineering*. – 2021. – Vol. 6, No. 3. – P. 149-153. – DOI: <https://doi.org/10.13360/j.issn.2096-1359.202006045>. – URL: <https://elibrary.ru/sbczge>.
16. Forestry Digital Twin With Machine Learning in Landsat 7 Data / X. Jiang, M. Jiang, Y. Gou et al. // *Frontiers in Plant Science*. – 2022. – Vol. 13. – P. 1-8. – DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.916900>.
17. 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 <https://doi.org/10.34220/issn.2222-7962/2022.1/8>. – <https://elibrary.ru/kjqalr>.
18. Деревягин, Р. Ю. Информатизация диагностирования автомобиля // *Актуальные вопросы техники, науки, технологии*. – Брянск, 2021. – С. 176-179. – Режим доступа: <https://elibrary.ru/ghazvj>.
19. Драпалюк, М. В. Результаты исследований процесса резания ветвей ротором с шарнирно-сочлененными и жестко установленными лезвиями / М. В. Драпалюк, Л. Д. Бухтояров, А. В. Прокудина // *Лесотехнический журнал*. – 2022. – Т. 12, № 2(46). – С. 80-88. – DOI 10.34220/issn.2222-7962/2022.2/7. – <https://elibrary.ru/jlzkej>.
20. Драпалюк, М. В. Результаты имитационного моделирования рабочего процесса ротора-метателя лесопожарной грунтометательной машины / М. В. Драпалюк, А. Ф. Петков, А. К. Поздняков // *Лесотехнический журнал*. – 2022. – Т. 12, № 2(46). – С. 89-99. – DOI 10.34220/issn.2222-7962/2022.2/8. <https://elibrary.ru/lsnmxx>.
21. Исследование влияния параметров шнекового барабана лесопожарного грунтометалосопрокладывателя на качество очистки потока грунта от напочвенного покрова / П. И. Попиков, А. К. Поздняков, М. А. Гнусов, А. Ф. Петков // *Лесотехнический журнал*. – 2022. – Т. 12, № 2(46). – С. 126-134. – DOI 10.34220/issn.2222-7962/2022.2/11. <https://elibrary.ru/grnjqg>.
22. Формы поддержки развития предпринимательства в лесном секторе ЦЧР / С. С. Морковина, Ю. Г. Денисова, О. И. Драпалюк, Б. Шанянь // *Лесотехнический журнал*. 2013. № 4(12). С. 210-216. <https://elibrary.ru/rtvozn>.
23. Пухов, Е. В. Разработка информационной системы управления техническим обслуживанием и ремонтом транспортных и технологических машин / Е. В. Пухов, Я. В. Комаров // *Вестник Федерального государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования "Московский государственный агроинженерный университет имени В.П. Горячкина"*. 2016. № 5(75). С. 35-39. – <https://elibrary.ru/wmulch>.
24. Алгоритм решения задачи оптимального распределения работ в сетевых канонических структурах / А. И. Новиков [и др.] // *Лесотехнический журнал*. – 2014. – Т. 4, № 4(16). – С. 309-317. – DOI 10.12737/8515. – Режим доступа: <https://elibrary.ru/tondhd>.
25. Математическая модель распределения трудовых ресурсов при технической эксплуатации и ремонте автотранспортных средств / С. В. Дорохин [и др.] // *Актуальные вопросы инновационного развития транспортного комплекса*. – Орел, 2016. – С. 133-139. <https://elibrary.ru/vxxdjz>.

26. Беляева, Т. П. Оптимальное планирование комплексных проектов создания электронной компонентной базы / Т. П. Беляева, А. П. Затворницкий // Информационные системы и технологии. – 2013. – № 3(65). – С. 5-10. <https://elibrary.ru/ntnxin>.
27. Помогаев, В. М. Информационное обеспечение в системе технического обслуживания и ремонта мобильных машин в сельском хозяйстве / В. М. Помогаев, Г. В. Редеев // Вестник Омского ГАУ. 2022. № 2 (46). С. 145–152. DOI 10.48136/2222-0364_2022_2_145. – <https://elibrary.ru/iprtch>.
28. Роль цифровизации технического сервиса в повышении эффективности сельскохозяйственного производства / Г. А. Иовлев, М. К. Саакян, И. И. Голдина, А. Г. Несговорцов // Аграрное образование и наука. 2019. № 2. С.8. – <https://elibrary.ru/udsodr>.
29. Дунаев, А. В. Совершенствование методов технического обслуживания сельскохозяйственной техники / А. В. Дунаев, В. А. Казакова, В. А. Шинкевич // Ремонт. Восстановление. Модернизация. 2018. № 4. С.27-31. – <https://elibrary.ru/xnrbut>.
30. Лебедев, А. Т. Повышение эффективности функционирования машин и оборудования АПК управлением надежностью их систем / А. Т. Лебедев, А. А. Серегин, А. Г. Арженовский // Вестник аграрной науки Дона. 2019. № 2(46). С.4-11. – <https://elibrary.ru/zymfz>.
31. Анализ силового взаимодействия дискового ножа с древесиной при бесстружечном делении / В. П. Ивановский, Д. К. Томенко, С. П. Трофимов, А. В. Киселева // Лесотехнический журнал. – 2022. – Т. 12, № 4(48). – С. 130-140. – DOI 10.34220/issn.2222-7962/2022.4/9. – <https://elibrary.ru/exxvqe>.
32. Моделирование процессов ТО и Р парка лесозаготовительных машин с учетом производственной эксплуатации / В. В. Побединский, С. В. Ляхов, М. Н. Салихова, Г. А. Иовлев // Деревообрабатывающая промышленность. 2020. № 4. С. 3-11. – <https://elibrary.ru/yplpky>.
33. Разиных, Е. М. Технологический процесс получения лущеного шпона: влияние внешних температурных условий на оттаивание и прогрев древесины / Е. М. Разиных, Т. Л. Ищенко, С. П. Трофимов // Лесотехнический журнал. – 2022. – Т. 12, № 4(48). – С. 141-152. – DOI 10.34220/issn.2222-7962/2022.4/10. <https://elibrary.ru/cquboj>.
34. 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. – <https://elibrary.ru/yocisx>.
35. Запруднов, В. И. Потребность парка лесосечных машин в техническом обслуживании / В. И. Запруднов, С. П. Карпачев, М. А. Быковский // Лесной вестник. Forestry Bulletin. 2017. Т.21. №2. С.76-79. DOI 10.18698/2542-1468-2017-2-76-79. – <https://elibrary.ru/ynbbpz>.
36. Tiwari, M. Development and Implementation of Reliability Centered Maintenance (RCM) System Using Artificial Intelligence. / M. Tiwari, M. Chaudhary // OORJA - International Journal of Management & IT. – IEEE, 2019. – Vol. 17. – P. 29-39. DOI: 10.1109/SASG57022.2022.10199533/
37. Патент № 2785599 С1 Российская Федерация, МПК А01С 11/02. Лесопосадочная машина для посадки семян с открытой и закрытой корневой системой : № 2022115054 : заявл. 03.06.2022 : опубл. 09.12.2022 / М. В. Драпалюк, В. В. Стасюк, В. А. Зеликов ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова". Режим доступа: <https://elibrary.ru/flzydw>.
38. Драпалюк, М. В. Новые конструкции универсальных лесопосадочных машин для посадки семян с открытой и закрытой корневой системой / М. В. Драпалюк, В. В. Стасюк, В. А. Зеликов // Лесотехнический журнал. – 2021. – Т. 11, № 4(44). – С. 112-123. Режим доступа: <https://elibrary.ru/xitfhn>.
39. Патент № 2179079 Российская Федерация, МПК В07В 1/16, В07В 13/04. Устройство для очистки и сортирования лесных семян хвойных пород / Л. Т. Свиридов, А. Д. Голев, А. И. Новиков, А. В. Филатов. Режим доступа: <https://elibrary.ru/hknsmk>.

40. Новиков, А. И. Дисковые сепараторы семян в лесохозяйственном производстве / А. И. Новиков. – Воронеж : Воронежский государственный лесотехнический университет им. Г.Ф. Морозова, 2017. – 159 с. Режим доступа: <https://elibrary.ru/ztgncj>.

41. Соколов, С. В. Тенденции развития операционной технологии аэросева беспилотными летательными аппаратами в лесовосстановительном производстве / С. В. Соколов, А. И. Новиков // Лесотехнический журнал. – 2017. – Т. 7, № 4(28). – С. 190-205. – DOI https://doi.org/10.12737/article_5a3d040dc79c79.94513194. Режим доступа: <https://elibrary.ru/ynmjrv>.

42. Посметьев, В. И. Состояние и пути повышения эффективности почвообрабатывающих агрегатов при лесовосстановлении на вырубках / В. И. Посметьев, В. А. Зеликов. – Воронеж : Воронежский государственный лесотехнический университет им. Г.Ф. Морозова, 2015. – 236 с. – ISBN 978-5-7994-0699-8. Режим доступа: <https://elibrary.ru/tvnywf>.

43. Novikov, A. I. Visible wave spectrometric features of Scots pine seeds: the basis for designing a rapid analyzer / A. I. Novikov // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. – 2019. – Vol. 226. – P. 012064. – DOI <https://doi.org/10.1088/1755-1315/226/1/012064>. Режим доступа: <https://elibrary.ru/zbsegt>.

44. VIS-NIR wave spectrometric features of acorns (*Quercus robur* L.) for machine grading / A. I. Novikov, M. V. Drapalyuk, S. V. Sokolov, V. Ivetic // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. – Vol. 392. – P. 012009. – DOI <https://doi.org/10.1088/1755-1315/392/1/012009>.

45. Novikova, T. P. Economic evaluation of mathematical methods application in the management systems of electronic component base development for forest machines / T. P. Novikova, A. I. Novikov // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. – 2019. – Vol. 392. – P. 012035. – DOI <https://doi.org/10.1088/1755-1315/392/1/012035>.

46. Sokolov, S. V. Determining the Initial Orientation for Navigation and Measurement Systems of Mobile Apparatus in Reforestation / S. V. Sokolov, A. I. Novikov, V. Ivetic // Inventions. – 2019. – Vol. 4, No. 4. – P. 56. – DOI <https://doi.org/10.3390/inventions4040056>.

47. How to Increase the Analog-to-Digital Converter Speed in Optoelectronic Systems of the Seed Quality Rapid Analyzer / S. V. Sokolov, V. V. Kamensky, A. I. Novikov, V. Ivetic // Inventions. – 2019. – Vol. 4, No. 4. – P. 61. – DOI <https://doi.org/10.3390/inventions4040061>. Режим доступа: <https://elibrary.ru/dkxphx>.

48. Novikova, T. P. The choice of a set of operations for forest landscape restoration technology / T. P. Novikova // Inventions. – 2022. – Vol. 7, No. 1. – DOI <https://doi.org/10.3390/inventions7010001>. URL: <https://elibrary.ru/uxpfiq>.

49. К вопросу развития системы энергообразования двигателей внутреннего сгорания / С. В. Дорохин [и др.] // Альтернативные источники энергии на автомобильном транспорте: проблемы и перспективы рационального использования. – Воронеж, 2014. – Том 1. – С. 272-274. Режим доступа: <https://elibrary.ru/slkaqt>.

50. Абузов, А. В. К вопросу аэродинамики корпусов транспортно-грузовых дирижаблей, проектируемых для лесного комплекса / А. В. Абузов, И. В. Григорьев, Я. А. Абузов // Лесотехнический журнал. – 2022. – Т. 12, № 1(45). – С. 68-81. – DOI [10.34220/issn.2222-7962/2022.1/6](https://doi.org/10.34220/issn.2222-7962/2022.1/6). Режим доступа: <https://elibrary.ru/mfjnba>.

51. Бартенев, И. М. Изнашивающая способность почв и ее влияние на долговечность рабочих органов почвообрабатывающих машин / И. М. Бартенев, Е. В. Поздняков // Лесотехнический журнал. – 2013. – № 3(11). – С. 114-123. – <https://elibrary.ru/rqqreb>.

52. Шиловский, В. Н. Оценка факторов эксплуатационной технологичности машин методом регрессионного анализа / В. Н. Шиловский, И. Г. Скобцов, Д. Г. Конанов // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. – 2022. – № 240. – С. 163-174. – DOI [10.21266/2079-4304.2022.240.163-174](https://doi.org/10.21266/2079-4304.2022.240.163-174). – Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/ntalgn>.

53. Патент № 2712516 Российская Федерация, МПК A01C 7/04, A01C 7/08, B64D 1/16. Устройство для аэросева семян : № 2019115601 : заявл. 21.05.2019 : опубл. 29.01.2020 / С. С. Морковина [и др.]. – Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/rqfuyd>.

54. Патент № 2714705 Российская Федерация, МПК A01G 23/00. Способ восстановления леса : № 2019115418 : заявл. 20.05.2019 : опубл. 19.02.2020 / А. И. Новиков. – Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/gzdlvj>.

55. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2021667363 Российская Федерация. Информационная система для участка по ремонту автотранспорта и механизмов : № 2021666981 : заявл. 28.10.2021 : опубл. 28.10.2021 / С. А. Морозов [и др.]. – Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/nrywgh>.

56. Новикова, Т. В. Разработка алгоритма и модели функционирования информационной системы для малого сельскохозяйственного предприятия / Т. В. Новикова, Т. П. Новикова, А. И. Новиков // Моделирование систем и процессов. – 2020. – Т. 13, № 4. С. 53-58. – DOI 10.12737/2219-0767-2021-13-4-53-58. – Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/qdcyvj>.

57. Евдокимова, С. А. Анализ товарного ассортимента запасных частей дилерского предприятия автомобильного сервиса с помощью алгоритма FP-Growth / С. А. Евдокимова, К. В. Фролов, А. И. Новиков // Моделирование систем и процессов. – 2022. – Т. 15, № 4. – С. 24-33. – DOI 10.12737/2219-0767-2022-15-4-24-33. – Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/jcngbh>.

58. Production of Complex Knowledgebased Systems: Optimal Distribution of Labor Resources Management in the Globalization Context / A. I. Novikov [et al.] // Globalization and its socio-economic consequences : Proceedings, Rajecke Teplice, Slovak Republic. – Rajecke Teplice, Slovak Republic: University of Zilina, 2018. – P. 2275-2281. – URL: <https://www.elibrary.ru/yxkpwk>.

59. Математическая модель оптимального распределения работ в сетевых канонических структурах / О. В. Авсеева [и др.] // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. – 2013. – № 5(301). – С. 48-52. – Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/sjqbtb>.

60. Нанoeлектроника: очередной этап развития электронной техники / М. Д. Евтеев [и др.] // Техника и технологии: пути инновационного развития. – Курск: Закрытое акционерное общество "Университетская книга", 2013. – С. 140-142. – Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/tjbbkj>.

61. Controlling means of development electronic component basis / V. N. Achkasov [et al.]. – Lorman, MS, USA : Science Book Publishing House LLC, 2013. – 130 p. – ISBN 978-1-62174-001-8. – <https://www.elibrary.ru/rewhat>.

62. Облачные технологии – становление и перспективы развития / В. В. Лядов [и др.] // Моделирование систем и процессов. – 2013. – № 1. – С. 37-39. – Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/rbjpfr>.

63. Затворницкий, А. П. Оптимальное планирование комплексных проектов создания электронной компонентной базы / А. П. Затворницкий // Информационные системы и технологии. – 2013. – № 3(65). – С. 5-10. – Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/ntnxin>.

64. Al-Naami, M. The Adoption of Circular Business Models in Germany: an Analysis of the DAX40 Companies / M. Al-Naami, K.H. Hofmann, K.-M. Griese // Circular Economy and Sustainability. – 2023. – DOI: <https://doi.org/10.1007/s43615-023-00270-5>.

65. Bae, C. Development of a Web-based RCM system for the driverless Rubber-Tired K-AGT system / C. Bae, H. Kim, Y. Son et al. // Journal of Mechanical Science and Technology. – 2013. – Vol. 23. – № 4. – P. 1142-1156. – DOI: <https://doi.org/10.1007/s12206-009-0304-9>.

66. Mahmoud, E.G. The Future of Digital Twins for Autonomous Systems: Analysis and Opportunities / E.G. Mahmoud, A. Darwish, A.E. Hassanien. – 2022. – P. 187-200. – DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-030-96802-1_10.

67. Pohlkötter, F.J. Unlocking the Potential of Digital Twins / F.J. Pohlkötter, D. Straubinger, A.M. Kuhn et al. – 2023. – P. 190-199. – DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-031-27933-1_18.

68. Aboshosha, A. IoT-based data-driven predictive maintenance relying on fuzzy system and artificial neural networks / A. Aboshosha, A. Haggag, N. George, H.A. Hamad // *Scientific Reports*. – 2023. – Vol. 13. – № 1. – P. 12186. – DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-023-38887-z>.

69. Singh, R.R. Building a Digital Twin Powered Intelligent Predictive Maintenance System for Industrial AC Machines / R.R. Singh, G. Bhatti, D. Kalel et al. // *Machines*. – 2023. – Vol. 11. – № 8. – P. 796. – DOI: <https://doi.org/10.3390/machines11080796>.

References

1. Fanta E.A. Klyucheve pokazateli effektivnosti v ispol'zovanii zapasnyh chastej kak tochki kontrolya v sisteme upravleniya proizvodstvennym predpriyatiem // *Voprosy innovacionnoj ekonomiki*. 2019. Tom 9. № 1. S. 267-274. doi: 10.18334/vinec.9.1.399351. Diener F., Spacek M. (2021). Digital Transformation in Banking: A Managerial Perspective on Barriers to Change. *Sustainability* 13(4):2032. DOI: 10.3390/su13042032

2. Bezuglov A.E., Kislicyna O.A. Klyucheve pokazateli effektivnosti pri provedenii tekhnicheskogo obsluzhivaniya i remonta oborudovaniya // *Voprosy innovacionnoj ekonomiki*. 2019. Tom 9. № 4. S.1501-1514. doi: 10.18334/vinec.9.4.41208

3. Goncharov A.B., Tulinov A.B., Perepechaj B.A., Goncharov A.A. Metody organizacii sistemy tekhnicheskogo obsluzhivaniya i remonta oborudovaniya s cel'yu obespecheniya ego bezotkaznoj raboty // *Remont. Vosstanovlenie. Modernizaciya*, 2017. № 2.

4. Dorohin S.V. Kriticheskij analiz metodov opredeleniya racional'nyh rezhimov tekhnicheskogo obsluzhivaniya i remonta / S. V. Dorohin, I. N. Kravchenko, P. G. Larin // *Remont. Vosstanovlenie. Modernizaciya*. 2015. № 6. S.44-48.

5. Merdanov Sh. M. Sovershenstvovanie organizacii tekhnicheskogo obsluzhivaniya i remonta stroi-tel'no-dorozhnyh mashin / Sh. M. Merdanov, V. V. Konev // *Transport i mashinostroenie Zapadnoj Sibiri*. 2020. № 2. S.15-21.

6. Semykina A S. Sovershenstvovanie sistemy tekhnicheskogo obsluzhivaniya i remonta kar'ernogo avtomobil'nogo transporta / A. S. Semykina, N. A. Zagorodnij // *Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin*. 2022. № 3-4(78). S.35-41. DOI 10.33979/2073-7432-2022-4(78)-3-35-41.

7. Gurskij, A. S. Ispol'zovanie transportnoj telematiki i distancionnoj diagnostiki dlya sover-shenstvovaniya tekhnicheskogo obsluzhivaniya i remonta transportnyh sredstv / A. S. Gurskij, V. S. Ivashko // *Izvestiya Nacional'noj akademii nauk Belarusi. Seriya fiziko-tekhnicheskikh nauk*. 2020. T.65. №3. S.375-383. DOI 10.29235/1561-8358-2020-65-3-375-383.

8. Apyrshkin D. S. Sovershenstvovanie programmy tekhnicheskogo obsluzhivaniya passazhirskih liftov na osnove imitacionnogo modelirovaniya rezhimov ih raboty / D. S. Apyrshkin, G. Sh. Hazano-vich, V.O. Gutarevich // *Advanced Engineering Research*. 2021. T.21, № 2. S.171–183. <https://doi.org/10.23947/2687-1653-2021-21-2-171-183>

9. Upravlenie tekhnicheskim obsluzhivaniem i remontom na avtotransportnom predpriyatii s ispol'zovaniem imitacionnogo modelirovaniya / I. V. Makarova, P. A. Bujvol, L. M. Gabsalihova, E. M. Muha-metdinov // *AvtoGazoZapravochnyj kompleks + Al'ternativnoe toplivo*. 2020. T.19. №1. S.10-15.

10. 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

11. 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>

12. 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.
13. 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
14. 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
15. Research on early forest fire detection based on the internet of things and spectrum analysis / S. Zhang, Y. Li, D. Gao, Z. Guan // Journal of Forestry Engineering. – 2021. – Vol. 6, No. 3. – P. 149-153. – DOI: <https://doi.org/10.13360/j.issn.2096-1359.202006045>. – URL: <https://elibrary.ru/sbczge>.
16. Jiang, X. Forestry Digital Twin With Machine Learning in Landsat 7 Data / X. Jiang, M. Jiang, Y. Gou et al. // Frontiers in Plant Science. – 2022. – Vol. 13. – P. 1-8. – DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.916900>.
17. Programmnoe obespechenie dlya upravleniya lesohozyajstvennym i lesozagotovitel'nym proces-sami: oценка primenimosti / A. N. Zaikin, V. V. Sivakov, V. A. Zelikov [i dr.] // Lesotekhnicheskij zhurnal. 2022. T.12. №1(45). S.96-109. DOI 10.34220/issn.2222-7962/2022.1/8.
18. Derevyagin R.Yu. Informatizaciya diagnostirovaniya avtomobilya // Aktual'nye voprosy tekhniki, nauki, tekhnologii: Sbornik nauchnyh trudov nacional'noj konferencii, posvyashchennoj 90-letiyu Bryansko-go gosudarstvennogo inzhenerno-tehnologicheskogo universiteta, Bryansk, 09–13 fevralya 2021 goda. Bryansk: Federal'noe gosudarstvennoe byudzhetnoe obrazovatel'noe uchrezhdenie vysshego obrazovaniya "Bryanskij gosudarstvennyj inzhenerno-tehnologicheskij universitet", 2021. S. 176-179.
19. Drapalyuk, M. V. Results of studies of the process of cutting branches with a rotor with articulated and rigidly mounted blades / M. V. Drapalyuk, L. D. Bukhtoyarov, A.V. Prokudina // Forestry Engineering Journal. – 2022. – Vol. 12, No. 2(46). – pp. 80-88. – DOI 10.34220/issn.2222-7962/2022.2/7. – <https://elibrary.ru/jlzkzej>.
20. Drapalyuk, M. V. Results of simulation modeling of the working process of the rotor-thrower of a forest-fire ground-throwing machine / M. V. Drapalyuk, A. F. Petkov, A. K. Pozdnyakov // Forestry engineering journal. – 2022. - Vol. 12, No. 2(46). – pp. 89-99. – DOI 10.34220/issn.2222-7962/2022.2/8. <https://elibrary.ru/lsnmxx>.
21. Investigation of the influence of the parameters of the screw drum of a forest fire grunt-strip-laying machine on the quality of cleaning the soil flow from the ground cover / P. I. Popikov, A. K. Pozdnyakov, M. A. Gnusov, A. F. Petkov // Forestry engineering Journal. – 2022. – Vol. 12, No. 2(46). – pp. 126-134. – DOI 10.34220/issn.2222-7962/2022.2/11. <https://elibrary.ru/grnjgg>.
22. Forms of support for the development of entrepreneurship in the forest sector of the Central Asian Republic / S. S. Morkovina, Yu. G. Denisova, O. I. Drapalyuk, B. Shan Yang // Forestry engineering journal. 2013. No. 4(12). pp. 210-216. URL: <https://elibrary.ru/rtvozn>.
23. Puhov E.V. Razrabotka informacionnoj sistemy upravleniya tekhnicheskim obsluzhivaniem i re-montom transportnyh i tekhnologicheskikh mashin / E. V. Puhov, Ya. V. Komarov // Vestnik Federal'nogo gos-udarstvennogo obrazovatel'nogo uchrezhdeniya vysshego professional'nogo obrazovaniya "Moskovskij gos-udarstvennyj agroinzhenernyj universitet imeni V.P. Goryachkina". 2016. № 5(75). S. 35-39.
24. Novikov, A. I. Algorithm for solving the problem of optimal distribution of work in network canonical structures / A. I. Novikov [et al.] // Forestry engineering Journal. – 2014. – Vol. 4, No. 4(16). – pp. 309-317. – DOI 10.12737/8515. –URL: <https://elibrary.ru/tondhd>.
25. Novikov, A. I. Algorithm for solving the problem of optimal distribution of work in network canonical structures / A.I. Novikov [et al.] // Forestry engineering Journal. – 2014. - Vol. 4, no. 4(16). - pp. 309-317. URL: <https://elibrary.ru/vxxdjz>.
26. Belyaeva, T. P. Optimal planning of complex projects for the creation of an electronic component base / T. P. Belyaeva, A. P. Zatvornitsky // Information systems and technologies. – 2013. – № 3(65). – P. 5-10. – <https://elibrary.ru/ntnxin>.

27. Pomogaev V.M., Redreev G.V. Informacionnoe obespechenie v sisteme tekhnicheskogo obsluzhiva-niya i remonta mobil'nyh mashin v sel'skom hozyajstve // Vestnik Omskogo GAU. 2022. № 2 (46). S. 145–152. DOI 10.48136/2222-0364_2022_2_145.
28. Rol' cifrovizacii tekhnicheskogo servisa v povyshenii effektivnosti sel'skohozyajstvennogo proizvodstva / G. A. Iovlev, M. K. Saakyan, I. I. Goldina, A. G. Nesgovorov // Agrarnoe obrazovanie i nauka. 2019. № 2. S.8.
29. Dunaev A. V. Sovershenstvovanie metodov tekhnicheskogo obsluzhivaniya sel'skohozyajstvennoj tekhniki / A. V. Dunaev, V. A. Kazakova, V. A. Shinkevich // Remont. Vosstanovlenie. Modernizaciya. 2018. № 4. S.27-31.
30. Lebedev A.T. Povyshenie effektivnosti funkcionirovaniya mashin i oborudovaniya APK upravleniem nadezhnost'yu ih sistem / A. T. Lebedev, A. A. Seregin, A. G. Arzhenovskij // Vestnik agrarnoj nauki Dona. 2019. № 2(46). S.4-11.
31. Analysis of the force interaction of a disk knife with wood in chipless division / V. P. Ivanovsky, D. K. Tomenko, S. P. Trofimov, A.V. Kiseleva // Forestry Engineering Journal. – 2022. – Vol. 12, No. 4(48). – P. 130-140. – DOI 10.34220/issn.2222-7962/2022.4/9. – <https://elibrary.ru/exxvqe>.
32. Modelirovanie processov to i r parka lesozagotovitel'nyh mashin s uchetom proizvodstvennoj ekspluatscii / V. V. Pobedinskij, S. V. Lyahov, M. N. Salihova, G. A. Iovlev // Derevoobrabatyvayushchaya promyshlennost'. 2020. № 4. S. 3-11.
33. Razinkov, E. M. Technological process of obtaining peeled veneer: the influence of external temperature conditions on thawing and warming of wood / E. M. Razinkov, T. L. Ishchenko, S. P. Trofimov // Forestry Engineering Journal. - 2022. – Vol. 12, No. 4(48). – P. 141-152. – DOI 10.34220/issn.2222-7962/2022.4/10. <https://elibrary.ru/cquboj>.
34. Tesovskij, A. Yu. Puti povysheniya kachestva tekhnicheskogo obsluzhivaniya i remonta oborudovaniya i mashin lesozagotovok i lesnogo hozyajstva na mestah ekspluatscii // Stroitel'nye i dorozhnye mashiny. 2017. № 5. S. 40-41.
35. Zaprudnov, V. I. Potrebnost' parka lesosechnykh mashin v tekhnicheskome obsluzhivanii / V. I. Zaprudnov, S. P. Karpachev, M. A. Bykovskij // Lesnoj vestnik. Forestry Bulletin. 2017. T.21. №2. S.76-79. DOI 10.18698/2542-1468-2017-2-76-79.
36. Tiwari, M. Development and Implementation of Reliability Centered Maintenance (RCM) System Using Artificial Intelligence. / M. Tiwari, M. Chaudhary // OORJA - International Journal of Management & IT. – IEEE, 2019. – Vol. 17. – P. 29-39. DOI: 10.1109/SASG57022.2022.10199533/
37. Patent No. 2785599 C1 Russian Federation. Forest planting machine for planting seedlings with an open and closed root system / M. V. Drapalyuk, V. V. Stasyuk, V. A. Zelikov. Access mode: <https://elibrary.ru/flzydw>.
38. Drapalyuk, M. V. New constructions of universal forest planting machines for planting seedlings with open and closed root system / M. V. Drapalyuk, V. V. Stasyuk, V. A. Zelikov // Forestry Engineering Journal. – 2021. – Vol. 11, No. 4(44). – pp. 112-123. Access mode: <https://elibrary.ru/xitfhn>.
39. Patent No. 2179079 Russian Federation. Device for cleaning and sorting of coniferous forest seeds / L. T. Sviridov, A.D. Golev, A. I. Novikov, A.V. Filatov. Access mode: <https://elibrary.ru/hknsmk>.
40. Novikov, A. I. Disc separators of seeds in forestry production / A. I. Novikov. – Voronezh : Voronezh State Forestry Engineering University named after G.F. Morozov, 2017. – 159 p. Access mode: <https://elibrary.ru/ztgncj>.
41. Sokolov, S. V. Trends in the development of operational technology of aerial seeding by unmanned aerial vehicles in reforestation production / S. V. Sokolov, A. I. Novikov // Forestry Engineering Journal. – 2017. – Vol. 7, No. 4(28). – pp. 190-205. – DOI https://doi.org/10.12737/article_5a3d040dc79c79.94513194. URL: <https://elibrary.ru/ynmjrv>.

42. Posmetyev, V. I. The state and ways of increasing the efficiency of tillage aggregates during reforestation in cuttings / V. I. Posmetyev, V. A. Zelikov. – Voronezh, 2015. – 236 p.– ISBN 978-5-7994-0699-8. URL: <https://elibrary.ru/tvnywf>.
43. Novikov, A. I. Visible wave spectrometric features of Scots pine seeds: the basis for designing a rapid analyzer / A. I. Novikov // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. – 2019. – Vol. 226. – P. 012064. – DOI <https://doi.org/10.1088/1755-1315/226/1/012064>. Режим доступа: <https://elibrary.ru/zbsegt>.
44. VIS-NIR wave spectrometric features of acorns (*Quercus robur* L.) for machine grading / A. I. Novikov, M. V. Drapalyuk, S. V. Sokolov, V. Ivetic // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. – Vol. 392. – P. 012009. – DOI <https://doi.org/10.1088/1755-1315/392/1/012009>.
45. Novikova, T. P. Economic evaluation of mathematical methods application in the management systems of electronic component base development for forest machines / T. P. Novikova, A. I. Novikov // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. – 2019. – Vol. 392. – P. 012035. – DOI <https://doi.org/10.1088/1755-1315/392/1/012035>.
46. Sokolov, S. V. Determining the Initial Orientation for Navigation and Measurement Systems of Mobile Apparatus in Reforestation / S. V. Sokolov, A. I. Novikov, V. Ivetic // Inventions. – 2019. – Vol. 4, No. 4. – P. 56. – DOI <https://doi.org/10.3390/inventions4040056>.
47. How to Increase the Analog-to-Digital Converter Speed in Optoelectronic Systems of the Seed Quality Rapid Analyzer / S. V. Sokolov, V. V. Kamensky, A. I. Novikov, V. Ivetic // Inventions. – 2019. – Vol. 4, No. 4. – P. 61. – DOI <https://doi.org/10.3390/inventions4040061>. Режим доступа: <https://elibrary.ru/dkxphx>.
48. Novikova, T. P. The choice of a set of operations for forest landscape restoration technology / T. P. Novikova // Inventions. – 2022. – Vol. 7, No. 1. – DOI <https://doi.org/10.3390/inventions7010001>. URL: <https://elibrary.ru/uxpfiq>.
49. On the issue of the development of the system of energy formation of internal combustion engines / S. V. Dorokhin [et al.] // Alternative energy sources in road transport: problems and prospects of rational use. – Voronezh, 2014. – Volume 1. – pp. 272-274. Access mode: <https://elibrary.ru/slkaqt>.
50. Arbuzov, A.V. On the issue of aerodynamics of the hulls of transport and cargo airships designed for the forest complex / A.V. Arbuzov, I. V. Grigoriev, Ya. A. Arbuzov // Forestry Engineering Journal. – 2022. – Vol. 12, No. 1(45). – pp. 68-81. – DOI 10.34220/issn.2222-7962/2022.1/6. Режим доступа: <https://elibrary.ru/mfjnba>.
51. Bartenev, I. M. The wearing capacity of soils and its effect on the durability of working bodies of tillage machines / I. M. Bartenev, E. V. Pozdnyakov // Forestry Engineering Journal. – 2013. – № 3(11). – Pp. 114-123. – <https://elibrary.ru/rqqpeb>.
52. Shilovsky, V. N. Evaluation of factors of operational manufacturability of machines by regression analysis method / V. N. Shilovsky, I. G. Skobtsov, D. G. Konanov // Izvestiya St. Petersburg Forestry Academy. – 2022. – № 240. – pp. 163-174. – DOI 10.21266/2079-4304.2022.240.163-174. – Access mode: <https://www.elibrary.ru/ntalgn>.
53. Patent No. 2712516 Russian Federation. Device for aerial seed sowing / S. S. Morkovina [et al.]. – Access mode: <https://www.elibrary.ru/rqfuyd>.
54. Patent No. 2714705 Russian Federation. Method of forest restoration / A. I. Novikov. – Access mode: <https://www.elibrary.ru/gzdlvj>.
55. Certificate of state registration of the computer program No. 2021667363 Russian Federation. Information system for the site for the repair of vehicles and mechanisms : No. 2021666981 : application 28.10.2021 : publ. 28.10.2021 / S. A. Morozov [et al.]. – Access mode: <https://www.elibrary.ru/nrywgh>.
56. Novikova, T. V. Development of an algorithm and a model of the functioning of an information system for a small agricultural enterprise / T. V. Novikova [et al.] // Modeling of systems and processes. – 2020. – Vol. 13, No. 4. pp. 53-58. – DOI 10.12737/2219-0767-2021-13-4-53-58. – Access mode: <https://www.elibrary.ru/qdcyvjv>.

57. Evdokimova, S. A. Analysis of the product range of spare parts of an automobile service dealer enterprise using the FP-Growth algorithm / S. A. Evdokimova [et al.] // Modeling of systems and processes. – 2022. – Vol. 15, No. 4. – pp. 24-33. – DOI 10.12737/2219-0767-2022-15-4-24-33. – URL: <https://www.elibrary.ru/jcnghb>.
58. Novikov, A.I. Production of Complex Knowledgebased Systems: Optimal Distribution of Labor Resources Management in the Globalization Context / A. I. Novikov [et al.] // Globalization and its socio-economic consequences : Proceedings, Rajecke Teplice, Slovak Republic. – Rajecke Teplice, Slovak Republic: University of Zilina, 2018. – P. 2275-2281. – URL: <https://www.elibrary.ru/yxkpwh>.
59. Avseeva, O.V. Mathematical model of optimal distribution of work in network canonical structures / O. V. Avseeva [et al.] // Fundamental and applied problems of engineering and technology. – 2013. – № 5(301). – Pp. 48-52. – Access mode: <https://www.elibrary.ru/sjqbtb>.
60. Evteev, M.D. Nanoelectronics: the next stage in the development of electronic technology / M. D. Evteev [et al.] // Technique and technology: ways of innovative development. – Kursk: Closed Joint Stock Company "University Book", 2013. – pp. 140-142. – URL: <https://www.elibrary.ru/tjbbkj>.
61. Achkasov, V. N. Controlling means of development electronic component basis / V. N. Achkasov [et al.]. – Lorman, MS, USA : Science Book Publishing House LLC, 2013. – 130 p. – ISBN 978-1-62174-001-8. – <https://www.elibrary.ru/rewhat>.
62. Lyadov, V.V. Cloud technologies – formation and prospects of development / V. V. Lyadov [et al.] // Modeling of systems and processes. – 2013. – No. 1. – pp. 37-39. – Access mode: <https://www.elibrary.ru/rbjpfr>.
63. Zatvornitsky, A. P. Optimal planning of complex projects for the creation of an electronic component base / A. P. Zatvornitsky // Information systems and technologies. – 2013. – № 3(65). – Pp. 5-10. – Access mode: <https://www.elibrary.ru/ntnxin>.
64. Al-Naami, M. The Adoption of Circular Business Models in Germany: an Analysis of the DAX40 Companies / M. Al-Naami, K.H. Hofmann, K.-M. GRIESE // Circular Economy and Sustainability. – 2023. – DOI: <https://doi.org/10.1007/s43615-023-00270-5>.
65. Bae, C. Development of a Web-based RCM system for the driverless Rubber-Tired K-AGT system / C. Bae, H. Kim, Y. Son et al. // Journal of Mechanical Science and Technology. – 2013. – Vol. 23. – № 4. – P. 1142-1156. – DOI: <https://doi.org/10.1007/s12206-009-0304-9>.
66. Mahmoud, E.G. The Future of Digital Twins for Autonomous Systems: Analysis and Opportunities / E. G. Mahmoud, A. Darwish, A.E. Hassanien. – 2022. – P. 187-200. – DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-030-96802-1_10.
67. Pohlkötter, F.J. Unlocking the Potential of Digital Twins / F.J. Pohlkötter, D. Straubinger, A.M. Kuhn et al. – 2023. – P. 190-199. – DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-031-27933-1_18.
68. Aboshosha, A. IoT-based data-driven predictive maintenance relying on fuzzy system and artificial neural networks / A. Aboshosha, A. Haggag, N. George, H.A. Hamad // Scientific Reports. – 2023. – Vol. 13. – № 1. – P. 12186. – DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-023-38887-z>.
69. Singh, R.R. Building a Digital Twin Powered Intelligent Predictive Maintenance System for Industrial AC Machines / R.R. Singh, G. Bhatti, D. Kalel et al. // Machines. – 2023. – Vol. 11. – № 8. – P. 796. – DOI: <https://doi.org/10.3390/machines11080796>.

Сведения об авторах

Заикин Анатолий Николаевич – доктор технических наук, профессор кафедры "Транспортно-технологические машины и сервис" ФГБОУ ВО «Брянский государственный инженерно-технологический университет», пр. Станке Димитрова, 3, г. Брянск, Российская Федерация, 241037, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-1831-6893>, e-mail: zaikin.anatolij@yandex.ru.

Сиваков Владимир Викторович – кандидат технических наук, доцент кафедры "Транспортно-технологические машины и сервис" ФГБОУ ВО «Брянский государственный инженерно-технологический университет», пр. Станке Димитрова, 3, г. Брянск, Российская Федерация, 241037, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-0175-9030>, e-mail: sv@bgitu.ru.

Новикова Татьяна Петровна – кандидат технических наук, доцент кафедры компьютерных технологий и микроэлектронной инженерии, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова», ул. Тимирязева, д. 8, г. Воронеж, Российская Федерация, 394087; <http://orcid.org/0000-0003-1279-3960>, e-mail: novikova_tp.vglta@mail.ru.

Зеликов Владимир Анатольевич – доктор технических наук, доцент кафедры организации перевозок и безопасности движения ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова», ул. Тимирязева, 8, г. Воронеж, Российская Федерация, 394087, ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-2317-9413>, e-mail: zelikov-vrn@mail.ru.

✉ *Стасюк Владимир Владимирович* – кандидат технических наук, доцент кафедры организации перевозок и безопасности движения ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова», ул. Тимирязева, 8, г. Воронеж, Российская Федерация, 394087, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-8689-955X>, e-mail: stasiuk.volodya@yandex.ru.

Чуйков Алексей Сергеевич – кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой технологии и дизайна изделий из древесины УО «Белорусский государственный технологический университет», ул. Свердлова 13а, г. Минск, Республика Беларусь, 220006, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-6923-7212>, e-mail: offlex88@belstu.by.

Information about the authors

Anatolii N. Zaikin – Dr. Sci. (Engineering), Professor of the Department of Transport and Technological Machines and Service, Bryansk State Engineering and Technological University, 3 Stanke Dimitrova Avenue, Bryansk, 241037, Russian Federation, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-1831-6893>, e-mail: zaikin.anatolij@yandex.ru.

Vladimir V. Sivakov – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Transport and Technological Machines and Service, Bryansk State Engineering and Technological University, 3 Stanke Dimitrova Avenue, Bryansk, 241037, Russian Federation, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-0175-9030>, e-mail: sv@bgitu.ru.

Tatyana P. Novikova – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Computer Technology and Microelectronic Engineering, Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, Timiryazev str., 8, Voronezh, Russian Federation, 394087, ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-1279-3960>, e-mail: novikova_tp.vglta@mail.ru.

Vladimir A. Zelikov – Dr. Sci. (Engineering), Associate Professor of the Department of Transportation Organization and Traffic Safety, Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G. F. Morozov, Timiryazev str., 8, Voronezh, Russian Federation, 394087, ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-2317-9413>, e-mail: zelikov-vrn@mail.ru.

✉ *Vladimir V. Stasyuk* – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Transportation Organization and Traffic Safety, Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, Timiryazev str., 8, Voronezh, Russian Federation, 394087, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-8689-955X>, e-mail: stasiuk.volodya@yandex.ru.

Alexey S. Chuikov – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Belarussian State Technological University, 13a Sverdlova str., Minsk, 220006, Belarus, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-6923-7212>, e-mail: offlex88@belstu.by.

✉ Для контактов/Corresponding author