

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ УПРАВЛЕНИЯ СЕРВИСНЫМ ОБСЛУЖИВАНИЕМ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ И ЛЕСОЗАГОТОВИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ

В.В. Сиваков¹, А.Н. Заикин^{1✉}, С.С. Грядунов², В.В. Никитин³

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

²ФГБОУ ВО «Брянский государственный технический университет», Россия, 241035, г. Брянск, б-р 50 лет Октября, д. 7

³ФГБОУ ВО «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)» (Мытищинский филиал), Россия, 141005, Московская обл., г. Мытищи, ул. 1-я Институтская, д. 1

zaikin.anatolij@yandex.ru

Проведен анализ развития систем управления сервисным обслуживанием машин. Представлены современные системы, позволяющие осуществлять мониторинг состояния узлов и агрегатов машин, а также прогнозировать изменения их состояния: управление системой технического сервиса, ориентированное на надежность; предотвращение рисков; ремонт по фактическому состоянию. Рассмотрена эволюция подхода к диагностированию машин от эпизодического контроля к постоянному мониторингу их параметров, а также получению оперативной информации о производственных данных конкретных машин. Установлено, что ведущие западные производители лесозаготовительных машин используют технические решения по мониторингу технического состояния машин и их производственных показателей. Выявлено, что в условиях лесозаготовительных предприятий может быть использована техника разных производителей, что не позволяет эффективно использовать полученную с сервера производителя информацию о работе машин. В целях повышения эффективности использования систем мониторинга состояния машин предложено применить единую систему управления предприятием на базе стандартов ERP. Для достижения независимости от иностранного программного обеспечения целесообразно применение отечественной системы 1С, позволяющей расширить ее возможности за счет включения блока управления производственной безопасностью.

Ключевые слова: система технического обслуживания и ремонта, лесозаготовительные машины, программное обеспечение, цифровизация сервисного обслуживания

Ссылка для цитирования: Сиваков В.В., Заикин А.Н., Грядунов С.С., Никитин В.В. Совершенствование управления сервисным обслуживанием сельскохозяйственной и лесозаготовительной техники // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2025. Т. 29. № 1. С. 172–186. DOI: 10.18698/2542-1468-2025-1-172-186

В настоящее время эффективное ведение производственной деятельности невозможно без использования современных высокопроизводительных машин, обладающих развитой системой управления как отдельными узлами и механизмами, так и машинами в целом. Постоянный процесс совершенствования управления машинами связан с необходимостью оптимального приспособления к выполняемым ими операциям, повышением их надежности, снижением затрат на эксплуатацию, а также с сервисным обслуживанием.

Проблема совершенствования процесса управления сервисным обслуживанием машин, включающая в себя комплекс мероприятий по диагностированию, сервисному обслуживанию и ремонту машин, в том числе сельскохозяй-

ственной, лесозаготовительной и строительно-дорожного назначения, относится к актуальным задачам вследствие наличия определенных сложностей при управлении, обуславливающих проведение большого числа мероприятий по регулярному сервисному обслуживанию и ремонту.

Управление сервисным обслуживанием машин на предприятиях осуществляется, как правило, в соответствии с системой планово-предупредительного сервисного обслуживания и ремонта, в которой заблаговременно планируются мероприятия по сервисному обслуживанию и ремонту узлов и агрегатов машин. Эти мероприятия привязываются преимущественно к пробегу машины или нормо-часам ее работы, что позволяет планировать дальнейшее применение машин в производственном процессе в целях выполнения ими

поставленных производством задач, а также загрузку сервисных мощностей предприятия для проведения сервисного обслуживания и ремонта. Однако такая система не лишена недостатков, к основным из которых следует отнести отсутствие учета реального состояния узла или агрегата, поэтому были разработаны и некоторые другие, например планово-диагностический ремонт при плановом периодическом обслуживании (согласно графикам, как при планово-предупредительном ремонте) и система контроля технического состояния оборудования методами технического диагностирования [1–3].

Эти разработки позволили в ходе сервисного обслуживания определять состояние контролируемого узла или механизма и планировать проведение регулировок или ремонтов.

Кроме того, в настоящее время разработаны и применяются другие системы планирования технического обслуживания и ремонта инженерных систем, в частности:

- обеспечивающие совершенствование управления системой технического сервиса и ориентированные на надежность (RCM — Reliability Centered Maintenance — методология планирования технического обслуживания и ремонта инженерных систем) [4], что позволяет поддерживать необходимый уровень работоспособности машин (ГОСТ Р 27.606–2013. Надежность в технике. Управление надежностью. Техническое обслуживание, ориентированное на безотказность);

- гарантирующие предотвращение рисков (RBI — Risk-based Inspection — методология принятия решений для оптимизации планов инспекций) [5], основанное на простой и ясной методике, изложенной в стандарте API 580 (American Petroleum Institute) и использующей наглядный инструмент — матрицу рисков, позволяющий планировать диагностику, обслуживание и ремонт машин и оборудования, обосновывать бюджеты и устанавливать их цели, анализировать критические данные оборудования, определять и характеризовать механизмы деградации узлов и агрегатов, оценивать последствия, вероятности и риски по следующим категориям: экономика, персонал, экология, репутация, снижать вероятность незапланированного простоя, повышать безопасность и надежность производства и одновременно сокращать расходы;

- осуществляющие ремонт по фактическому состоянию [6, 7], основанный на методах оперативного контроля параметрической надежности, который позволяет прогнозировать надежность машин, выявлять потенциальные

поломки и их предупреждать, проводить сервисное обслуживание и ремонт машин с учетом их фактического состояния [8, 9].

Таким образом, большинство число систем в области организации сервисного обслуживания и ремонта машин [10] свидетельствует о продолжающемся поиске путей его совершенствования, что сохраняет актуальность при эксплуатации техники вдали от ремонтной базы предприятия. В этом случае целесообразно использовать систему ремонта по фактическому состоянию, для которой требуется широкое внедрение в конструкцию машин цифровых диагностических систем [11] и соответствующего оборудования для качественного выполнения сервисного обслуживания и ремонтов на базе цифровых технологий [12, 13].

В настоящей работе рассмотрены вопросы совершенствования управления сервисным обслуживанием сельскохозяйственной и лесозаготовительной техники с помощью ее цифровизации, а также программные продукты, применяемые для управления техническим сервисом машин на предприятии, выполнен анализ работы систем диагностирования и возможность их интеграции в систему управления.

Цель работы

Цель работы — оценка применимости современных цифровых технологий для управления сервисным обслуживанием сельскохозяйственной и лесозаготовительной техники и повышения эффективности деятельности предприятий, ее эксплуатирующих.

Материалы и методы

Задача поддержания работоспособности сельскохозяйственной и лесозаготовительной техники на предприятии осложнена необходимостью учета множества факторов, которые определяются разнообразными условиями работы, реальным техническим состоянием машин, наличием свободных сервисных мощностей, квалифицированных механиков, запасных частей и материалов [14, 15], и требует значительных управленческих ресурсов для управления ситуацией.

Проблема управления сервисным обслуживанием машин состоит в том, что непосредственно управление не является самоцелью, главная цель в данном случае — создание системы, позволяющей гарантированно обеспечивать выполнение производственных планов

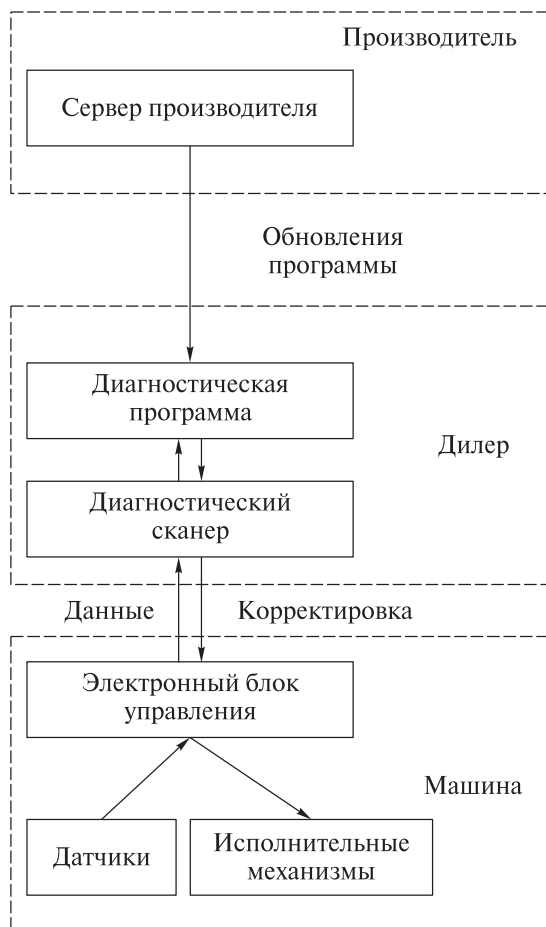


Рис. 1. Исходная система диагностирования машин
Fig. 1. Initial machine diagnostics system

организации при одновременном снижении затрат, осуществляемой организацией для достижения высокого уровня надежности применяемых ею машин.

Учитывая, что основным объектом управления при лесозаготовительных работах служат производственные операции, связанные с валкой деревьев, их трелевкой, обрезкой сучьев, погрузкой и вывозкой из леса, важным становится выполнение подразделениями и бригадами производственных заданий с использованием машин различного типа, работающих с разной производительностью. Например, производительность валочно-пакетирующей машины в 2–3 раза больше производительности трелевочной. В связи с этим при формировании комплектов лесозаготовительных машин практически невозможно подобрать такой их количественный состав, при котором объемы выработок на всех операциях при различных условиях эксплуатации были бы равны, тем более что объемы выработки машин в течение времени их работы изменяются [16]. Кроме того, необходимо учитывать, что машины требуют проведения перио-

дического сервисного обслуживания и ремонта, что увеличивает их простои, а следовательно, снижает производительность.

Для оценки и учета реального состояния машин при оперативном планировании и управлении их работой в целях обеспечения их максимальной выработки важное значение приобретает постоянный мониторинг и прогнозирование изменений контролируемых узлов и агрегатов.

Рассматривая историю внедрения систем диагностирования в машинах следует отметить, что вначале они были оборудованы такими системами диагностирования, которые позволяли отслеживать состояние узлов и агрегатов. В случае выхода контролируемого параметра за пределы допустимых значений системы реагировали на происшедшие изменения, сохраняя код ошибки в памяти блока управления и сигнализируя водителю. Такой подход был реализован согласно требованиям стандартов OBD и OBD-II (On-board diagnostics — диагностические стандарты 1988 г. и 1996 г.), разработанных SAE (Society of Automotive Engineers — Американская ассоциация автомобильных инженеров) и введенных в действие в США. Считывание кодов неисправностей (DTC — Diagnostic Trouble Codes) могло проводиться в режиме самодиагностики машины или при подключении диагностического сканера на сервисном предприятии (как правило, это был официальный дилер производителя). Диагностирование заключалось в следующем. Сканер подключали к диагностическому разъему, шло считывание кодов неисправностей из блока управления, далее происходил опрос имеющихся датчиков, обработка полученной информации, корректировка программного кода блока управления при необходимости проводилась дилером. Новую информацию, процедуры диагностики и корректировки программного обеспечения необходимо было периодически получать при обновлении диагностической программы, устанавливаемой на компьютер дилера (рис. 1).

Информация о неисправностях в работе узлов и агрегатов машины доходила до дилера с опозданием, лишь во время очередного технического обслуживания, когда владелец приезжал на техстанцию. К производителю машин информация поступала с еще большим опозданием. Машина могла выйти из строя внезапно, вдали от дилерского предприятия, что вело к дополнительным простоям техники, росту издержек на ремонт, отдаляло определение причины неисправностей и разработку инструкции для дилеров по ее эффективному устранению.

Совершенствование элементной базы электроники и увеличение скорости передачи информации позволили производителям машин создать электронные системы, управляющие работой многих узлов и агрегатов, а также осуществлять мониторинг технического состояния машин и оборудования. При этом диагностика происходила на базе дилера с подключением диагностического сканера. Вся информация передавалась на сервер производителя машин, сохраняясь в его базе данных и обрабатывалась. Корректирующие параметры передавались через диагностический сканер и записывались в блок управления машины. Дилер в этом случае выступал посредником, который организовывал сеанс связи с сервером изготовителя и блоком управления машины (рис. 2).

Однако и эта система диагностирования обладала недостатками, к основным из которых можно отнести периодический контроль состояния узлов и агрегатов машины (как правило, при прохождении сервисного обслуживания на дилерском предприятии), что могло спровоцировать выход из строя узла или механизма машины и простой машины задолго до проведения планового сервисного обслуживания. Это снижало эффективность использования не только любой отдельной машины, но и производительность предприятия в целом.

В настоящее время развитие информационных технологий обусловило значительное ускорение и упрощение процесса передачи информации благодаря созданию мобильных сетей последнего поколения. Технология Интернета вещей (IoT) делает обычное устройство «умным», интегрируя в его конструкцию блок управления с коммуникационным интерфейсом, обеспечивающим удаленную связь с таким устройством в режиме реального времени [17].

Дальнейший прогресс привел к разработке концепции цифровых двойников, т. е. электронной копии реальных физических объектов, получающих информацию о состоянии контролируемых узлов и агрегатов непрерывно, практически в режиме реального времени. Это изменило возможность контроля технического состояния машин [18–20].

Современная концепция диагностирования машин и оборудования, особенно промышленного назначения, к которым относится сельскохозяйственная, лесозаготовительная, дорожно-строительная и другая техника, предполагает постоянный ее мониторинг. При этом диагностическая информация с машин посредством использования телекоммуникационного оборудования в автоматическом режиме отправляется на сервер производителя, сохраняется в

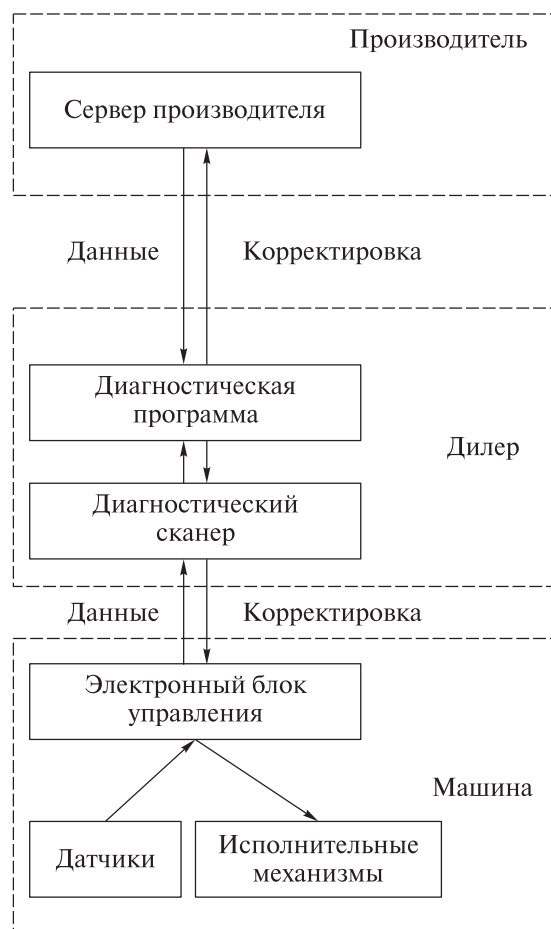


Рис. 2. Скорректированная система диагностирования машин

Fig. 2. Adjusted machine diagnostics system

базе данных, обрабатывается, и на основании предиктивной аналитики прогнозируется изменение ее состояния. Официальный дилер имеет доступ к этой информации, по согласованию с владельцем машины может осуществлять ее удаленный мониторинг и корректировку (рис. 3) через соответствующее программное обеспечение. Владелец машины также может получить доступ к информации по своей машине (как правило, через доступ на сайте производителя или же посредством специального программного обеспечения). Благодаря постоянному обмену данными между электронным блоком управления и заводом-изготовителем есть возможность дистанционно диагностировать и устранять различные неисправности. На практике такая схема в настоящее время реализуется компанией Tesla, каждый автомобиль которой имеет свой цифровой двойник. Помимо возможности удаленной диагностики собранная информация позволяет выявлять узлы и детали, которым необходима доработка, обучать искусственный интеллект, применяемый в автопилотах компании.



Рис. 3. Современная система диагностирования машин
 Fig. 3. Modern machine diagnostics system

Цифровизация деятельности сельскохозяйственных [21–24], лесозаготовительных [25, 26], строительных и других предприятий [27–29], направленная как на производственную, так и финансово-управленческую деятельность, способствует эффективному планированию и управлению всеми производственными процессами, в том числе сервисным обслуживанием техники.

Область деятельности предприятия обуславливает специфику управления системой сервисного обслуживания и ремонта. Так, строительные, дорожные, автотранспортные, лесозаготовительные, сельскохозяйственные предприятия широко используют машины вдали от стационарной сервисной базы предприятия. Проведение мероприятий по их сервисному обслуживанию, в том числе ежесменному, а также по внеплановому ремонту приходится выполнять не на самом предприятии — по причине возникновения сложностей и дополнительных затрат на транспортировку машин, — а непосредственно на месте выполнения машинами работ или на временной стоянке машин. Это обстоятельство вследствие слабого контроля за проводимыми мероприятиями, затруднениям обеспечения качественного ремонта может привести к снижению качества их обслуживания или невыполнению отдельных видов работ, поскольку при этом имеется недостаток в необходимом оборудовании и квалифицированных сотрудниках сервисной службы.

Результаты и обсуждение

Ведущие мировые производители сельскохозяйственной (New Holland (CNH Industrial), John Deere (Deere & Company) и др.) и лесозаготовительной техники (Ponsse (Ponsse Plc.), John Deere (Deere & Company), Komatsu (Komatsu Ltd.)) [25, 26] для мониторинга и управления своей техникой разработали и широко применяют собственные программные продукты (рис. 4). Например, управление сервисным обслуживанием машин компании Ponsse Plc. осуществляется на основе программы Fleet Manager, которая позволяет интегрировать в единое информационное пространство компании технику Ponsse Plc. и управлять всем парком для достижения высоких финансовых показателей на основе сбора отчетных данных посредством инструмента Data API, электронного каталога запчастей Ponsse Parts Online, размещенного в сети интернет и позволяющего оперативно подбирать необходимые запчасти и заказывать их у ближайшего дилера, и активного руководства Active Manual, позволяющего получить информацию о машине, ее характеристиках, особенностях конструкции и настройках в нужный момент времени в любом месте.

Компания Komatsu Ltd организовала этот процесс с помощью веб-системы MaxiFleet, что позволило получить доступ к дилерскому каталогу запчастей Komatsu ESS. При этом

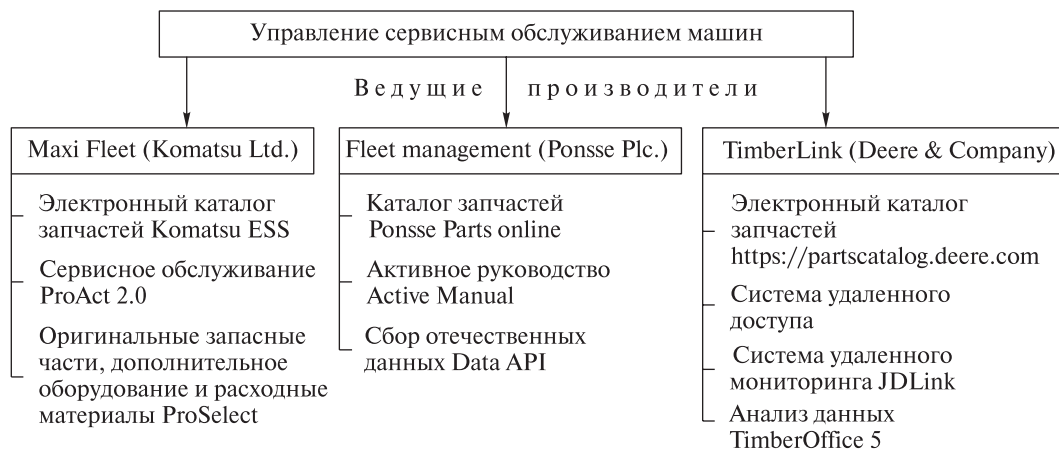


Рис. 4. Программное обеспечение для управления сервисным обслуживанием техники ведущими мировыми производителями лесозаготовительной техники

Fig. 4. Equipment maintenance management software from the world’s leading logging machinery manufacturers

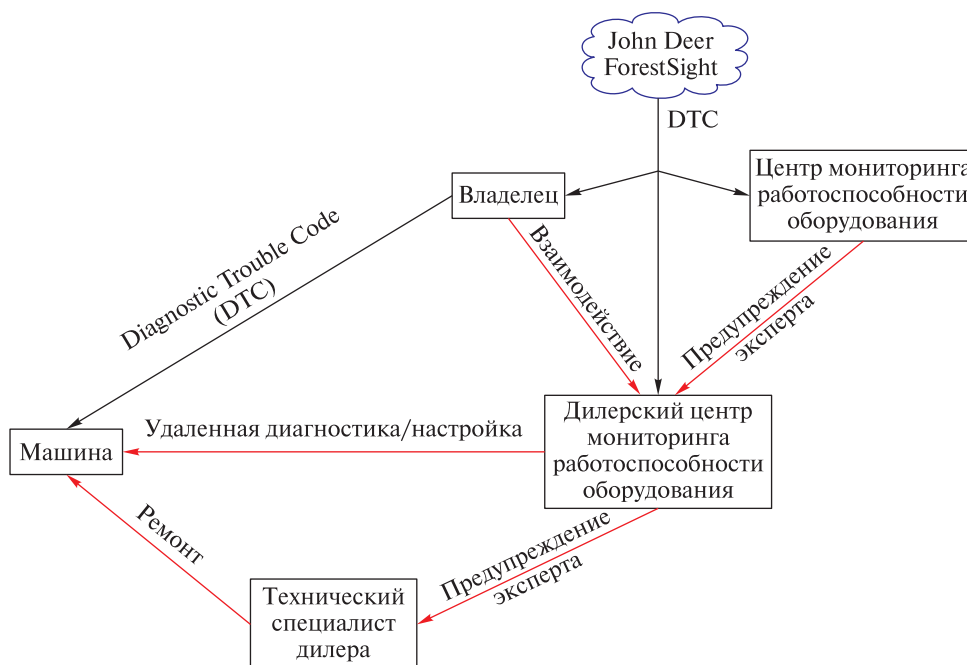


Рис. 5. Система диагностирования машин компании Deere & Company

Fig. 5. John Deere machine diagnostic system example

появилась возможность осуществлять поиск любых запасных частей, получать доступ к покомпонентным схемам узлов, руководствам пользователей, иметь программы сервисного обслуживания в новой концепции — ProAct 2.0, которая обеспечивает всеми услугами по обслуживанию техники по фиксированным низким ценам, по фактически отработанным моточасам машины. С помощью программного обеспечения ProSelect используются оригинальные запасные части, дополнительное оборудование

и расходные материалы, разработанные специально для машин Komatsu.

Компания Deere & Company применяет приложение TimberLink, позволяющее осуществлять управление как лесозаготовительной, так и сельскохозяйственной техникой на основе электронного каталога запчастей, доступного на официальном сайте компании. С помощью системы удаленного доступа и мониторинга на базе системы JDLink быстро выполняется удаленная диагностика всей линейки машин,

выпускаемой компанией — харвестеров, форвардеров, трелевочных тракторов, лесопогрузчиков, валочно-пакетирующих машин. Получаемые с машин данные обрабатываются посредством специализированного программного обеспечения TimberOffice 5, а в режиме online контролируются такие параметры занятых в работе машин, как объем готовой продукции, производительность, временные затраты, уровень потребления топлива, размеры и типы обрабатываемых стволов и т. д. Наглядно отмечаются отклонения от планов производства, производительности, потребления топлива отдельных единиц техники. Оператор может запросить детализированный анализ по любой из машин, фиксирующий, на что конкретно и как были использованы ресурсы и время.

Практически все производители разработали и предоставляют доступ к своим электронным каталогам запчастей, электронным руководствам к машинам, обеспечивая поиск ближайших дилеров и организацию связи с ними. Организован сбор данных о состоянии машин, их производительности с отправкой либо в специализированную программу компании (Komatsu Ltd., Deere & Company) или же в используемую предприятием ERP-систему (Enterprise Resource Planning — программный комплекс для управления компанией) (Ponsse Plc.). Дальнейшим развитием электронных систем компании Deere & Company является организация удаленного доступа к машинам и их удаленная диагностика с помощью системы JDLink (рис. 5) с хранением информации по каждой машине на сервере производителя и организацией доступа к ней владельца и дилера, осуществляющего планирование сервисного обслуживания и ремонта техники. Данное решение применяется для всего ассортимента выпускаемой техники (сельскохозяйственной, лесозаготовительной, строительной и т. д.).

Условия работы сельскохозяйственной и лесозаготовительной техники достаточно сильно отличаются по возможности организации непрерывной связи машины с сервером компании. Сельскохозяйственная техника, как правило, работает в зоне покрытия мобильной связи, а лесозаготовительная — вдали от населенных пунктов и базовых станций (ретрансляторов), т. е. в условиях недостаточного покрытия мобильной связи. Отсюда возникает необходимость использования устройств хранения информации с последующей ее передачей на сервер или применения ретрансляторов, на что потребуются дополнительные затраты. В качестве ретрансляторов могут выступать, например, беспилотные летательные аппараты,

воздушные шары, передвижные (мобильные) базовые станции.

Передачу информации от лесозаготовительных машин, работающих на лесосеке, можно организовать с помощью установки Wi-Fi беспроводных модулей связи [30]. Для повышения точности позиционирования машин в этом случае рекомендуется применять анализ видимости цифровой модели поверхности (DSM — Digital Surface Model — трехмерное изображение рельефа со всеми расположенными объектами) [31], позволяющий повысить автономность работы машин.

Российской компанией «Интелтех» разработан терминал независимой и безопасной сети передачи данных для дронов и наземных объектов, который функционирует на базе самоорганизующейся сети типа mesh, без привязки к сетям сотовой связи и интернету. Устройство собирает данные с 16 различных датчиков и отправляет их на смартфон или компьютер через Wi-Fi или Bluetooth. Терминал передает показания телеметрии, текстовые сообщения размером до 256 байт и определяет координаты объектов по GPS и ГЛОНАСС в режиме реального времени. Площадь покрытия на открытой местности — до 28 км²; для его работы требуется около 200 мВт энергии. Терминал работает на литийионных аккумуляторах или подзаряжается от внешнего устройства.

Таким образом, данные, отправляемые с отдельных машин, хранятся в облачной среде и далее предоставляются информационным системам владельца машин.

Эффективное управление техническим состоянием парка машин во многом определяет конкурентоспособность предприятия. Например, как показали результаты исследования техники лесхозов Республики Башкортостан [32], те лесхозы, в которых было хорошо организовано ремонтное хозяйство и своевременно проводилось сервисное обслуживание и ремонт техники, обеспечивали высокие объемы заготавливаемой древесины и были лидерами среди лесозаготовительных организаций региона.

Однако в современных условиях недостаточно составить график прохождения сервисного обслуживания и ремонта техники, важно учитывать специфику производства. Если техника работает вдали от собственной ремонтной базы и появляется необходимость своевременного проведения требующихся технических мероприятий и их учета, а также контроля выполнения запланированных регулировок и ремонтов, планирования потребности в материалах и запасных частях, согласования с сервисными службами и выполнения производственных

Программное обеспечение для управления сервисным обслуживанием и ремонтом
Maintenance and repair management software

Программное обеспечение	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)
1С:ТОИР	+	+	+	+	-
1С:RCM Управление надёжностью	-	-	+	+	-
Галактика: EAM	+	+	-	+	-
IBM Maximo Application Suite	+	-	+	+	+
SAP Predictive Maintenance and Service	+	-	-	-	-
SAP Asset Intelligence Network	+	-	-	-	-
Oracle Enterprise Asset Management	+	-	-	-	-



Рис. 6. Классификация систем управления техническим сервисом
Fig. 6. Classification of technical service management systems

заданий. Повысить эффективность используемой техники при минимальных затратах можно только благодаря широкому внедрению цифровых технологий, в частности использованию программных продуктов для управления процессом сервисного обслуживания и ремонта на предприятии [33], которые встроены в еди-

ную систему управления предприятием на базе стандартов ERP.

В настоящее время управление процессом сервисного обслуживания и ремонта техники, интегрированное в систему управления предприятием, может быть организовано на базе следующих пяти классов программного обеспечения:

1) системы управления активами предприятия (EAM — Enterprise Asset Management), дающие возможность управлять используемыми в работе активами, при этом центром методологии управления являются сами активы и их техническая информация;

2) автоматизированные системы управления техническим обслуживанием (CMMS — Computerized Maintenance Management System), ориентированные на планирование и контроль активов и связанных с этим затратами на выполнение работ по техническому обслуживанию с конечной целью продления срока службы актива при минимальных затратах;

3) системы предиктивного технического обслуживания (PdM — Predictive Maintenance Systems), контролирующие техническое состояние оборудования в режиме реального времени (с помощью датчиков, размещенных на оборудовании) и планирования технического обслуживания на основе полученных данных о состоянии активов;

4) системы надежности-ориентированного технического обслуживания (RCM — Reliability-Centered Maintenance), управляющие техническим обслуживанием и ремонтом на базе программ сервисного обслуживания и ремонта, оптимизируемых с точки зрения эффективности и сокращения рисков технической эксплуатации;

5) системы управления выездным сервисным обслуживанием (FSM — Field Service Management), осуществляющие координацию операций выездных специалистов в рамках работ по сервисному обслуживанию.

Учитывая результаты исследований, представленные в работе [34], в качестве единой российской системы управления предприятием класса ERP можно применять следующую систему: 1С: Предприятие (с интеграцией систем управления техническим обслуживанием и ремонтом — 1С:ТОИР, 1С:RCM Управление надежностью) или Галактика (с интеграцией систем управления техническим обслуживанием и ремонтом Галактика: EAM). Пригодными могут быть зарубежные системы, в частности IBM (IBM Maximo Application Suite); SAP (SAP Predictive Maintenance and Service, SAP Asset Intelligence Network); Oracle (Oracle Enterprise Asset Management).

Указанные системы многофункциональны, обеспечивают эффективное управление сервисным обслуживанием и ремонтом (таблица).

В настоящее время на фоне ограничений работы иностранного программного обеспечения и достижения технологического суверенитета страны целесообразно применять отечественные решения, не подверженные политическим

рискам и дающие возможность развития отечественным компаниям.

Дополнительным аргументом в пользу выбора 1С в качестве основной системы является возможность интеграции информационных систем управления производственной безопасностью [35], в частности: 1С: Охрана труда [36] и 1С: Производственная безопасность (рис. 6). Охрана труда [37] позволяет повысить эффективность контроля соблюдения работниками предприятия техники безопасности, снизить количество случаев производственного травматизма за счет автоматизации контроля, в том числе с использованием видеокамер, фиксирующих происходящее, и программ искусственного интеллекта, самостоятельно определяющих факт нарушения на видеоизображении.

Развертывание систем класса ERP, а также систем управления сервисным обслуживанием и многих других можно выполнить с помощью облачных технологий или собственного сервера предприятия. При этом важно учесть возможность локального накопления информации о состоянии машины, выполненных операциях сервисного обслуживания и ремонта и последующую передачу в систему при появлении такой возможности [38–43].

Выводы

Анализ состояния применения информационных технологий в области совершенствования управления работой лесозаготовительных машин и их сервисного обслуживания показал, что с целью своевременного и качественного сервисного обслуживания машин необходим учет не только производственных показателей их работы, но и постоянный мониторинг технического состояния деталей и узлов.

В условиях лесозаготовительных предприятий в связи с использованием машин разных производителей, необходимо применять единую систему управления предприятием, основанную на стандарте ERP. Для обеспечения технологической независимости от иностранного программного обеспечения в качестве такой системы целесообразно использовать отечественную систему 1С, позволяющую расширить ее возможности за счет включения блока управления производственной безопасностью.

Список литературы

- [1] 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

- [2] Pomogaev V.M., Redreev G.V. Information support in the system of maintenance and repair of mobile machines in agriculture // *Vestnik Omsk SAU*, 2022, no. 2(46), 1, pp. 145–152.
DOI: 10.48136/2222-0364_2022_2_145
- [3] Иовлев Г.А. Мировая практика организации технического сервиса // *Агропродовольственная политика России*, 2018. № 4(76). С. 49–53.
- [4] 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
- [5] 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
- [6] Левин В.М., Гужов Н.П., Боярова Д. А. К вопросу об эффективности управления ремонтами электрооборудования нефтедобычи со стратегией по техническому состоянию // *Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики*, 2022. Т. 24. № 1. С. 39–51. DOI 10.30724/1998-9903-2022-24-1-39-51
- [7] 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.
- [8] Варнаков Д.В., Варнаков В.В., Дежаткин М.Е. Оптимизация системы технического сервиса путем внедрения обслуживания по фактическому состоянию машин // *Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии*, 2017. № 2 (38). С. 168–173.
DOI: 10.18286/1816-4501-2017-2-168-173
- [9] Дидманидзе О.Н., Варнаков Д.В. Результаты разработки метода и системы оперативного контроля и прогнозирования параметрической надежности в специальных эксплуатационных режимах // *Международный технико-экономический журнал*, 2013. № 4. С. 71–79.
- [10] Sivakov V., Zaikin A., Borovaya K. Improving service agricultural and forestry machinery // *Bio Web of Conferences: IV International Conference on Agricultural Engineering and Green Infrastructure for Sustainable Development (AEGISD-IV 2024)*, Tashkent, Uzbekistan, 28–30 марта 2024 года, v. 105. Les Ulis: EDP Sciences. Web of Conferences, 2024, p. 01005.
DOI: 10.1051/bioconf/202410501005
- [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] Pulyaev N.N., Kurilenko A.V., Shakzada U.N. Digitalization in modern service stations // *Science without borders*, 2021, no. 4 (56), pp. 57–61.
- [13] Чемшикова Ю.М., Король С.А., Бургунутдинов А.М., Кунгурова Е.А., Бурмистрова О.Н. *Технология и машины лесозаготовок и лесного хозяйства*. СПб.: Издательский дом «Сциентиа», 2024. 54 с.
- [14] 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.
- [15] Прохоров В.Ю., Червоноокая С.М., Комяков А.Н., Евдокимов Ю.М. Состояние техники и вопросы импортозамещения запасных частей и деталей с учетом геополитических изменений на отечественном рынке // *Конкурентоспособность в глобальном мире: экономика, наука, технологии*, 2023. № 4. С. 181–186.
- [16] Халилов С.Н., Загидуллина Л.И. Сравнительный анализ лесозаготовительной техники и перспективы проектирования многофункциональных универсальных машин // *Научные исследования и разработки молодых ученых*, 2023. С. 246–252.
- [17] Kolberg D., Zühlke D. Lean Automation enabled by Industry 4.0 Technologies // *IFAC-Papers On Line*, 2015, no. 48(3), pp. 1870–1875.
DOI: 10.1016/j.ifacol.2015.06.359
- [18] Pliuta M., Pop E., Caramihai S., Moiescu M. A Digital Twin Generic Architecture for Data-Driven Cyber-Physical Production Systems // *Service Oriented, Holonic and Multi-Agent Manufacturing Systems for Industry of the Future*, pp.71–82.
DOI: 10.1007/978-3-031-24291-5_6
- [19] Krenczyk D. Digital Twins of Production Systems Based on Discrete Simulation and Machine Learning Algorithms // *18th Int. Conf. on Soft Computing Models in Industrial and Environmental Applications (SOCO 2023)*, pp. 57–66.
DOI: 10.1007/978-3-031-42536-3_6
- [20] Shvedenko V., Mozokhin A. Concept of digital twins at life cycle stages of production systems // *Scientific and Technical J. of Information Technologies, Mechanics and Optics*, 2020, v. 20, pp. 815–827.
DOI: 10.17586/2226-1494-2020-20-6-815-827
- [21] Катаев Ю.В., Градов Е.А., Тишанинов И.А. Контроль технического состояния сельскохозяйственной техники через онлайн-мониторинг параметров // *Сельскохозяйственная техника: обслуживание и ремонт*, 2022, no. 1. С. 14–19.
DOI: 10.33920/sel-10-2201-03
- [22] Erokhin M.N., Dorokhov A.S., Kataev Yu.V. Intelligent system for diagnosing the parameters of the technical condition of tractors // *Agricultural Engineering*, 2021, no. 2, pp. 45–50.
<https://doi.org/10.26897/2687-1149-2021-2-45-50>
- [23] Чутчева Ю.В., Коротких Ю.С., Кирица А.А. Цифровые трансформации в сельском хозяйстве // *Агроинженерия*, 2021. № 5 (105). С. 53–58.
DOI: 10.26897/2687-1149-2021-5-53-58
- [24] Коротченя В.М., Личман Г.И., Смирнов И.Г. Цифровизация технологических процессов в растениеводстве России // *Сельскохозяйственные машины и технологии*, 2019. № 13(1). С. 14–20.
<https://doi.org/10.22314/2073-7599-2018-13-1-14-20>
- [25] Заикин А.Н., Сиваков В.В., Никитин В.В., Брионес А.А. Программное обеспечение в лесном хозяйстве и при лесозаготовках // *Лесной вестник / Forestry Bulletin*, 2023. Т. 27. № 4. С. 172–184.
DOI: 10.18698/2542-1468-2023-4-172-184
- [26] Саханов В.В., Фитчин А.А. Проблемы лесного машиностроения и направления их разрешения // *Современные машины, оборудование и IT-решения*

- лесопромышленного комплекса: теория и практика: Матер. Всерос. науч.-практ. конф., Воронеж, 17 июня 2021 г. Воронеж: Изд-во ВГЛТУ им. Г.Ф. Морозова, 2021. С. 130–135.
- [27] 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
- [28] Kurniawan R., Kholik H. Usulan Perawatan Mesin Stitching Dengan Metode Reliability Centered Maintenance // Jurnal Teknik Industri, 2017, v. 16(2), pp. 83–91. DOI: 10.22219/JTIUMM.Vol16.No2.83-91
- [29] Восковых К.А. Особенности цифровизации в строительной отрасли как важный фактор ее устойчивого развития // Бюллетень науки и практики, 2021. Т. 7. № 12. С. 169–174. DOI: 10.33619/2414-2948/73/23
- [30] Kim G.-H., Kim K.-D., Lee H.-S., Choi Y., Mun H.-S., Oh J.-H., Shin B.-S. Development of Wi-Fi-Based Teleoperation System for Forest Harvester // J. of Biosystems Engineering, 2021, v. 46. DOI: 10.1007/s42853-021-00100-2
- [31] Lopatin E., Väättäin K., Kukko A., Kaartinen H., Huypä J., Holmström E., Sikanen L., Nuutinen Y., Routa J. Unlocking Digitalization in Forest Operations with Viewshed Analysis to Improve GNSS Positioning Accuracy // Forests, 2023, v. 14(4), p. 689. DOI: 14. 689. 10.3390/f14040689
- [32] Быков В.В., Голубев М.И. Обновление парка машин в лесном комплексе импортной лесозаготовительной техникой // Научно-информационное обеспечение инновационного развития АПК: Материалы XIII Междунар. науч.-практ. интернет-конф. п. Правдинский, Московская обл., 08–10 июня 2021 г. Правдинский: Изд-во Российского научно-исследовательского института информации и технико-экономических исследований по инженерно-техническому обеспечению агропромышленного комплекса, 2021. С. 505–509.
- [33] Янюк Ю.В., Капелюш К.В. Автоматизация базы данных запасных частей и агрегатов лесозаготовительной техники // Ремонт. Восстановление. Модернизация, 2021. № 4. С. 40–44.
- [34] Попиков П.И., Евсикова Н.Ю., Камалова Н.С., Фурсов С.К. Системный подход к проблеме обоснования модернизации лесозаготовительных машин // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика, 2015. Т. 3. № 2–2 (13–2). С. 296–300.
- [35] Рубинская А.В., Мохирев А.П., Пузырева О.К., Керющенко А.А. Разработка мероприятий по охране окружающей среды при лесозаготовительном процессе // Лесотехнический журнал, 2017. Т. 7. № 2 (26). С. 105–114.
- [36] Автоматизация производственной безопасности и охраны труда. URL: <https://www.ot-soft.ru> (дата обращения 06.08.2023).
- [37] IC: Производственная безопасность. Охрана труда. URL: https://solutions.ic.ru/catalog/ehs_ocsaf/features (дата обращения 06.08.2023).
- [38] Gölzer P., Fritzsche A. Data-driven operations management: organisational implications of the digital transformation in industrial practice. Production Planning and Control, 2017, v. 28(16), pp. 1332–1343. DOI: 10.1080/09537287.2017.1375148
- [39] Gupta U., Bansal A., Singh S. Application of Failure Mode Effect Analysis for Improved Scheduling in Maintenance of Machines // Int. J. of Innovative Technology and Exploring Engineering, 2020, v. 9, pp. 895–899. DOI: 10.35940/E3025.049620
- [40] Apatenko A.S., Sevryugina N.S. Accounting of Random Processes when Adjusting the Overhaul Life of Machines for Reclamation // E3S Web of Conf., 13, Rostov-on-Don, 26–28 February 2020, p. 05011. DOI: 10.1051/e3sconf/202017505011
- [41] Apatenko A.S., Sevryugina N.S. Methods of Recruiting of Mobile Repair Services and Maintenance of Machines Performing Reclamation Works // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering: Int. Scientific Conf. Interstroy-meh, 2019, ISM, 2019, Kazan, 12–13 September 2019. Kazan: Institute of Physics Publishing, 2020, p. 012037. DOI: 10.1088/1757-899X/786/1/012037
- [42] Sevryugina N.S., Apatenko A.S. Failure Risk Control Method in Providing Technical Safety of Transportation Engineering Vehicle Operation for Reclamation Work // Engineering for Rural Development, 19, Jelgava, 20–22 May, 2020. Jelgava, 2020, pp. 591–597. DOI 10.22616/ERDev.2020.19.TF132
- [43] Sevryugina N., Apatenko A., Revyako S. Theory of the Technological Machinery State Recognition by the Criterion of Recourse Uncertainly // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering, Rostov-on-Don, 20–22 October 2020. Rostov-on-Don, 2020, p. 012083. DOI 10.1088/1757-899X/1001/1/012083

Сведения об авторах

Сиваков Владимир Викторович — канд. техн. наук, доцент кафедры «Транспортно-технологические машины и сервис», ФГБОУ ВО «Брянский государственный инженерно-технологический университет», sv@bgtu.ru

Заикин Анатолий Николаевич — д-р. тех. наук, профессор кафедры «Транспортно-технологические машины и сервис», ФГБОУ ВО «Брянский государственный инженерно-технологический университет», zaikin.anatolij@yandex.ru

Грядунцов Сергей Семенович — канд. техн. наук, доцент кафедры «Машиностроение и материаловедение», ФГБОУ ВО «Брянский государственный технический университет», gryadunowcc@mail.ru

Никитин Владимир Валентинович — д-р техн. наук, профессор кафедры «Технология и оборудование лесопромышленного производства», ФГБОУ ВО «Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана» (Мытищинский филиал), nikitinvv@bmstu.ru

Поступила в редакцию 30.05.2024.

Одобрено после рецензирования 31.10.2024.

Принята к публикации 27.11.2024.

SERVICE MAINTENANCE MANAGEMENT IMPROVEMENT OF AGRICULTURAL AND FORESTRY EQUIPMENT

V.V. Sivakov¹, A.N. Zaikin^{1✉}, S.S. Gryadunov², V.V. Nikitin³

¹Bryansk State University of Engineering and Technology, 3, Stanke Dimitrova av., 241037, Bryansk, Russia

²Bryansk State Technical University, 7, October 50 year Anniversary Blvd, 241035, Bryansk, Russia

³BMSTU (Mytishchi branch), 1, 1st Institutskaya st., 141005, Mytishchi, Moscow reg., Russia

zaikin.anatolij@yandex.ru

The development of machine maintenance service management systems is analysed. Modern systems allowing to monitor the condition of machine units and assemblies, as well as to forecast changes in their condition are presented: reliability-oriented maintenance service system management; risk prevention; repair according to actual condition. The evolution of the approach to diagnostics of machines from episodic control to permanent monitoring of their parameters, as well as obtaining operational information on production data of specific machines is considered. It is established that the leading western manufacturers of logging machines use technical solutions for monitoring the technical condition of machines and their production indicators. It has been revealed that in the conditions of logging enterprises machinery of different manufacturers can be used, which does not allow to effectively use the information on machine operation received from the manufacturer's server. In order to improve the efficiency of machine condition monitoring systems it is proposed to apply a unified enterprise management system based on ERP standards. In order to achieve independence from foreign software it is advisable to use domestic 1C system, which allows to expand its capabilities by including the block of industrial safety management.

Keywords: maintenance and repair system, logging machines, software, digitalisation of service maintenance

Suggested citation: Sivakov V.V., Zaikin A.N., Gryadunov S.S., Nikitin V.V. *Sovershenstvovaniye upravleniya servisnym obsluzhivaniyem sel'skokhozyaystvennoy i lesozagotovitel'noy tekhniki* [Service maintenance management improvement of agricultural and forestry equipment]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2025, vol. 29, no. 1, pp. 172–186. DOI: 10.18698/2542-1468-2025-1-172-186

References

- [1] Bezuglov A.E., Kislitsyna O.A. *Klyucheveye pokazateli effektivnosti pri provedenii tekhnicheskogo obsluzhivaniya i remonta oborudovaniya* [Key performance indicators for equipment maintenance and repair]. *Voprosy innovatsionnoy ekonomiki* [Issues of Innovative Economics], 2019, v. 9, no. 4, pp. 1501–1514. DOI: 10.18334/vinec.9.4.41208
- [2] Pomogaev V.M., Redreev G.V. Information support in the system of maintenance and repair of mobile machines in agriculture. *Vestnik Omsk SAU*, 2022, no. 2(46), 1 pp. 45–152. DOI: 10.48136/2222-0364_2022_2_145

- [3] Iovlev G.A. *Mirovaya praktika organizatsii tekhnicheskogo servisa* [World practice of organizing technical service]. [Agro-food policy of Russia], 2018, no. 4(76), pp. 49–53.
- [4] Tugengold A.K., Voloshin R.N., Yusupov A.R., Kruglova T.N. [Maintenance of technological machines based on digitalization]. *Agroproduktivnost' i politika Rossii* [Bulletin of the Don State Technical University], 2019, v. 19, no. 1, pp. 74–80. DOI: 10.23947/1992-5980-2019-19-1-74-80
- [5] Zav'yalov A.P. *Diagnosticheskoe obsluzhivanie oborudovaniya i truboprovodov neftegazovykh proizvodstv pri risk-orientirovannom podkhode k ekspluatatsii* [Diagnostic maintenance of equipment and pipelines of oil and gas production facilities with a risk-oriented approach to operation]. *Oborudovanie i tekhnologii dlya neftegazovogo kompleksa* [Equipment and technologies for the oil and gas complex], 2020, no. 3 (117), pp. 79–81. DOI: 10.33285/1999-6934-2020-3 (117)-79-81
- [6] Levin V.M., Guzhov N.P., Boyarova D.A. *K voprosu ob effektivnosti upravleniya remontami elektrooborudovaniya nefteedobychi so strategiyey po tekhnicheskomu sostoyaniyu* [On the issue of effectiveness of the oil production electrical equipment repairs management with a strategy for technical condition]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Problemy energetiki* [Power engineering: research, equipment, technology], 2022, t. 24, no. 1, pp. 39–51. DOI 10.30724/1998-9903-2022-24-1-39-51
- [7] Goncharov A.B., Tulinov A.B., Perepechay B.A., Goncharov A.A. *Metody organizatsii sistemy tekhnicheskogo obsluzhivaniya i remonta oborudovaniya s tsel'yu obespecheniya ego bezotkaznoy raboty* [Methods of organizing the system of technical maintenance and repair of equipment in order to ensure its trouble-free operation]. *Remont. Vosstanovlenie. Modernizatsiya* [Repair. Restoration. Modernization], 2017, no. 2, pp. 35–40.
- [8] Varnakov D.V., Varnakov V.V., Dezhatkin M.E. *Optimizatsiya sistemy tekhnicheskogo servisa putem vnedreniya obsluzhivaniya po fakticheskomu sostoyaniyu mashin* [Optimization of the technical service system by introducing maintenance based on the actual condition of machines]. *Vestnik Ul'yanovskoy GSKhA* [Bulletin of the Ulyanovsk State Agricultural Academy], 2017, no. 2 (38), pp. 168–173. DOI: 10.18286/1816-4501-2017-2-168-173
- [9] Didmanidze O.N., Varnakov D.V. *Rezultaty razrabotki metoda i sistemy operativnogo kontrolya i prognozirovaniya parametricheskoy nadezhnosti v spetsial'nykh ekspluatatsionnykh rezhimakh* [Results of the development of the method and system of operational control and forecasting of parametric reliability in special operating modes]. *Mezhdunarodnyy tekhniko-ekonomicheskyy zhurnal* [International Technical and Economic J.], 2013, no. 4, pp. 71–79.
- [10] Sivakov V., Zaikin A., Borovaya K. Improving service agricultural and forestry machinery. *Bio Web of Conferences: IV International Conference on Agricultural Engineering and Green Infrastructure for Sustainable Development (AEGISD-IV 2024)*, Tashkent, Uzbekistan, 28–30 марта 2024 года, v. 105. Les Ulis: EDP Sciences. Web of Conferences, 2024, p. 01005. DOI: 10.1051/bioconf/202410501005
- [11] Semykina A.S., Zagorodniy N.A. *Sovershenstvovanie sistemy tekhnicheskogo obsluzhivaniya i remonta kar'ernogo avtomobil'nogo transporta* [Improving the system of technical maintenance and repair of quarry motor transport]. *Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin* [World of transport and technological machines], 2022, no. 3–4(78), pp. 35–41. DOI:10.33979/2073-7432-2022-4(78)-3-35-41
- [12] Pulyaev N.N., Kurilenko A.V., Shakzada U.N. Digitalization in modern service stations. *Science without borders*, 2021, no. 4 (56), pp. 57–61.
- [13] Chemshikova Yu.M., Korol' S.A., Burgonutdinov A.M., Kungurova E.A., Burmistrova O.N. *Tekhnologiya i mashiny lesozagotovok i lesnogo khozyaystva* [Technology and machines for logging and forestry]. St. Petersburg: Publishing House «Scientia», 2024, p. 54.
- [14] Tesovskiy A.Yu. *Puti povysheniya kachestva tekhnicheskogo obsluzhivaniya i remonta oborudovaniya i mashin lesozagotovok i lesnogo khozyaystva na mestakh ekspluatatsii* [Ways to improve the quality of technical maintenance and repair of logging and forestry equipment and machines at the sites of operation]. *Stroitel'nye i dorozhnye mashiny* [Construction and road machines], 2017, no. 5, pp. 40–41.
- [15] Prokhorov V.Yu., Chervonookaya S.M., Komyakov A.N., Evdokimov Yu.M. *Sostoyanie tekhniki i voprosy importozameshcheniya zapasnykh chastey i detaley s uchetom geopoliticheskikh izmeneniy na otechestvennom rynke* [The state of technology and issues of import substitution of spare parts and components taking into account geopolitical changes in the domestic market]. *Konkurentosposobnost' v global'nom mire: ekonomika, nauka, tekhnologii* [Competitiveness in the global world: economics, science, technology], 2023, no. 4, pp. 181–186.
- [16] Khalilov S.N., Zagidullina L.I. *Sravnitel'nyy analiz lesozagotovitel'noy tekhniki i perspektivy proektirovaniya mnogofunktional'nykh universal'nykh mashin* [Comparative analysis of logging equipment and prospects for the design of multifunctional universal machines]. *Nauchnye issledovaniya i razrabotki molodykh uchenykh* [Scientific research and development of young scientists], 2023, pp. 246–252.
- [17] Kolberg D., Zühlke D. Lean Automation enabled by Industry 4.0 Technologies. *IFAC-Papers On Line*, 2015, no. 48(3), pp. 1870–1875. DOI: 10.1016/j.ifacol.2015.06.359
- [18] Iliuta M., Pop E., Caramihai S., Moisescu M. A Digital Twin Generic Architecture for Data-Driven Cyber-Physical Production Systems. *Service Oriented, Holonic and Multi-Agent Manufacturing Systems for Industry of the Future*, pp.71–82. DOI: 10.1007/978-3-031-24291-5_6
- [19] Krenczyk D. Digital Twins of Production Systems Based on Discrete Simulation and Machine Learning Algorithms. *18th Int. Conf. on Soft Computing Models in Industrial and Environmental Applications (SOCO 2023)*, pp. 57–66. DOI: 10.1007/978-3-031-42536-3_6
- [20] Shvedenko V., Mozokhin A. Concept of digital twins at life cycle stages of production systems. *Scientific and Technical J. of Information Technologies, Mechanics and Optics*, 2020, v. 20, pp. 815–827. DOI: 10.17586/2226-1494-2020-20-6-815-827
- [21] Kataev Yu.V., Gradov E.A., Tishaninov I.A. *Kontrol' tekhnicheskogo sostoyaniya sel'skokhozyaystvennoy tekhniki cherez onlayn-monitoring parametrov* [Monitoring the technical condition of agricultural machinery through online

- monitoring of parameters]. Sel'skokhozyaystvennaya tekhnika: obsluzhivanie i remont [Agricultural machinery: maintenance and repair], 2022, no. 1, pp. 14–19. DOI: 10.33920/sel-10-2201-03
- [22] Erokhin M.N., Dorokhov A.S., Kataev Yu.V. Intelligent system for diagnosing the parameters of the technical condition of tractors. *Agricultural Engineering*, 2021, no. 2, pp. 45–50. <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2021-2-45-50>
- [23] Chutcheva Yu.V., Korotkikh Yu.S., Kiritsa A.A. *Tsifrovye transformatsii v sel'skom khozyaystve* [Digital transformations in agriculture]. *Agroinzheneriya* [Agroinzheneriya], 2021, no. 5 (105), pp. 53–58. DOI: 10.26897/2687-1149-2021-5-53-58
- [24] Korotchenya V.M., Lichman G.I., Smirnov I.G. *Tsifrovizatsiya tekhnologicheskikh protsessov v rastenievodstve Rossii* [Digitalization of technological processes in crop production in Russia]. *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii* [Agricultural machinery and technologies], 2019, no. 13(1), pp. 14–20. <https://doi.org/10.22314/2073-7599-2018-13-1-14-20>
- [25] Zaikin A.N., Sivakov V.V., Nikitin V.V., Briones A.A. *Programmnoye obespechenie v lesnom khozyaystve i pri lesozagotovkakh* [Software in forestry and logging]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2023, vol. 27, no. 4, pp. 172–184. DOI: 10.18698/2542-1468-2023-4-172-184
- [26] Sakhanov V.V., Fitchin A.A. *Problemy lesnogo mashinostroeniya i napravleniya ikh razresheniya* [Problems of forestry engineering and directions for their resolution]. *Sovremennyye mashiny, oborudovanie i IT-resheniya lesopromyshlennogo kompleksa: teoriya i praktika: mater. Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii* [Modern machines, equipment and IT solutions for the forestry complex: theory and practice: Mater. All-Russian scientific and practical conference], Voronezh, June 17, 2021. Voronezh: VSTU named after G.F. Morozov, 2021, pp. 130–135.
- [27] Gurskiy A.S., Ivashko V.S. *Ispol'zovanie transportnoy telematiki i distantsionnoy diagnostiki dlya sovershenstvovaniya tekhnicheskogo obsluzhivaniya i remonta transportnykh sredstv* [Use of transport telematics and remote diagnostics to improve the maintenance and repair of vehicles]. *Izvestiya Natsional'noy akademii nauk Belarusi. Seriya fiziko-tekhnicheskikh nauk* [Bulletin of the National Academy of Sciences of Belarus. Series of physical and technical sciences], 2020, v. 65, no. 3, pp. 375–383. DOI: 10.29235/1561-8358-2020-65-3-375-383
- [28] Kurmiawan R., Kholik H. Usulan Perawatan Mesin Stitching Dengan Metode Reliability Centered Maintenance. *Jurnal Teknik Industri*, 2017, v. 16(2), pp. 83–91. DOI: 10.22219/JTIUMM. Vol.16, no.2, pp.83–91.
- [29] Voskovykh K.A. *Osobennosti tsifrovizatsii v stroitel'noy otrasli kak vazhnyy faktor ee ustoychivogo razvitiya* [Features of digitalization in the construction industry as an important factor in its sustainable development]. *Byulleten' nauki i praktiki* [Bulletin of Science and Practice], 2021, v. 7, no. 12, pp. 169–174. DOI: 10.33619/2414-2948/73/23
- [30] Kim G.-H., Kim K.-D., Lee H.-S., Choi Y., Mun H.-S., Oh J.-H., Shin B.-S. Development of Wi-Fi-Based Teleoperation System for Forest Harvester. *J. of Biosystems Engineering*, 2021, v. 46. DOI: 10.1007/s42853-021-00100-2
- [31] Lopatin E., Väättäinen K., Kukko A., Kaartinen H., Hyyppä J., Holmström E., Sikanen L., Nuutinen Y., Routa J. Unlocking Digitalization in Forest Operations with Viewshed Analysis to Improve GNSS Positioning Accuracy. *Forests*, 2023, v. 14(4), p. 689. DOI: 14. 689. 10.3390/f14040689
- [32] Bykov V.V., Golubev M.I. *Obnovlenie parka mashin v lesnom komplekse importnoy lesozagotovitel'noy tekhniki* [Updating the machine fleet in the forestry complex with imported logging equipment]. *Nauchno-informatsionnoye obespechenie innovatsionnogo razvitiya APK: Mater. XIII Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy internet-konferentsii* [Scientific and information support for innovative development of the agro-industrial complex: Proc. XIII International Scientific and Practical Internet Conference]. P. Pravdinsky, Moscow Region, June 08–10, 2021. Pravdinsky: Russian Research Institute of Information and Technical and Economic Research on Engineering and Technical Support of the Agro-Industrial Complex, 2021, pp. 505–509.
- [33] Yanyuk Yu.V., Kapelyush K.V. *Avtomatizatsiya bazy dannykh zapasnykh chastey i agregatov lesozagotovitel'noy tekhniki* [Automation of the database of spare parts and units of logging equipment]. *Remont. Vosstanovlenie. Modernizatsiya* [Repair. Restoration. Modernization], 2021, no. 4, pp. 40–44.
- [34] Popikov P.I., Evsikova N.Yu., Kamalova N.S., Fursov S.K. *Sistemnyy podkhod k probleme obosnovaniya modernizatsii lesozagotovitel'nykh mashin* [Systems approach to the problem of justifying the modernization of logging machines]. *Aktual'nye napravleniya nauchnykh issledovaniy XXI veka: teoriya i praktika* [Current areas of scientific research in the 21st century: theory and practice], 2015, v. 3, no. 2–2 (13–2), pp. 296–300.
- [35] Rubinskaya A.V., Mokhirev A.P., Puzyreva O.K., Keryushchenko A.A. *Razrabotka meropriyatiy po okhrane okruzhayushchey sredy pri lesozagotovitel'nom protsesse* [Development of measures to protect the environment in the logging process]. *Lesnoy Zhurnal* (Russian Forestry Journal), 2017, v. 7, no. 2 (26), pp. 105–114.
- [36] *Avtomatizatsiya proizvodstvennoy bezopasnosti i okhrany truda* [Automation of industrial safety and labor protection]. Available at: <https://www.ot-soft.ru> (accessed 06.08.2023).
- [37] *IS: Proizvodstvennaya bezopasnost'. Okhrana truda* [IC: Industrial Safety. Occupational safety]. Available at: https://solutions.1c.ru/catalog/ehs_ocsaf/features (accessed 06.08.2023).
- [38] Gözler P., Fritzsche A. Data-driven operations management: organisational implications of the digital transformation in industrial practice. *Production Planning and Control*, 2017, v. 28(16), pp. 1332–1343. DOI: 10.1080/09537287.2017.1375148
- [39] Gupta U., Bansal A., Singh S. Application of Failure Mode Effect Analysis for Improved Scheduling in Maintenance of Machines. *International J. of Innovative Technology and Exploring Engineering*, 2020, v. 9, pp. 895–899. DOI: 10.35940/E3025.049620
- [40] Apatenko A.S., Sevryugina N.S. Accounting of Random Processes when Adjusting the Overhaul Life of Machines for Reclamation. *E3S Web of Conferences*, 13, Rostov-on-Don, 26–28 February 2020, p. 05011. DOI: 10.1051/e3sconf/202017505011
- [41] Apatenko A.S., Sevryugina N.S. Methods of Recruiting of Mobile Repair Services and Maintenance of Machines Performing Reclamation Works. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering: International Scientific*

- Conference Interstroyemh, 2019, ISM, 2019, Kazan, 12–13 September 2019. Kazan: Institute of Physics Publishing, 2020, p. 012037. DOI: 10.1088/1757-899X/786/1/012037
- [42] Sevryugina N.S., Apatenko A.S. Failure Risk Control Method in Providing Technical Safety of Transportation Engineering Vehicle Operation for Reclamation Work. Engineering for Rural Development, 19, Jelgava, 20–22 May, 2020. Jelgava, 2020, pp. 591–597. DOI 10.22616/ERDev.2020.19.TF132
- [43] Sevryugina N., Apatenko A., Revyako S. Theory of the Technological Machinery State Recognition by the Criterion of Recourse Uncertainty. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, Rostov-on-Don, 20–22 October 2020. Rostov-on-Don, 2020, p. 012083. DOI 10.1088/1757-899X/1001/1/012083

Authors' information

Sivakov Vladimir Viktorovich — Cand. Sci. (Tech.), Senior Lecturer, Department of Transport and Technological Machinery and Service, Bryansk State University of Engineering and Technology, sv@bgitu.ru

Zaikin Anatoliy Nikolaevich✉ — Dr. Sci. (Tech.), Professor, Department of Transport and Technological Machinery and Service, Bryansk State University of Engineering and Technology, zaikin.anatolij@yandex.ru

Gryadunov Sergey Semenovich — Cand. Sci. (Tech.), Senior Lecturer, Department of Mechanical Engineering and Materials Science, Bryansk State Technical University, grydunowcc@mail.ru

Nikitin Vladimir Valentinovich — Dr. Sci. (Tech.), Professor, Department of Technology and Equipment of Forest Industry, Bauman Moscow State Technical University, Myititschi Branch, nikitinvv@bmstu.ru

Received 30.05.2024.

Approved after review 31.10.2024.

Accepted for publication 27.11.2024.

Вклад авторов: все авторы в равной доле участвовали в написании статьи
Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов
Authors' Contribution: All authors contributed equally to the writing of the article
The authors declare that there is no conflict of interest