

Научный обзор

DOI: <https://doi.org/10.34220/issn.2222-7962/2024.2/12>

УДК 630\*32:65.014.011.56



## Автоматизированное оперативное управление лесосечными работами: методологический анализ

Анатолий Н. Заикин<sup>1</sup>, [zaikin.anatolij@yandex.ru](mailto:zaikin.anatolij@yandex.ru), <https://orcid.org/0000-0002-1831-6893>

Владимир В. Сиваков<sup>1</sup>, [sv@bgtu.ru](mailto:sv@bgtu.ru), <https://orcid.org/0000-0002-0175-9030>

Владимир А. Зеликов<sup>2</sup>, [zelikov-vrn@mail.ru](mailto:zelikov-vrn@mail.ru) <https://orcid.org/0000-0003-2317-9413>

Алексей С. Чуйков<sup>3</sup>, [offlex88@belstu.by](mailto:offlex88@belstu.by) <https://orcid.org/0000-0002-6923-7212>

Артур И. Новиков<sup>2</sup>, [arthur.novikov@vglta.vrn.ru](mailto:arthur.novikov@vglta.vrn.ru) <https://orcid.org/0000-0003-1230-0433>

Владимир В. Стасюк<sup>2</sup>✉, [stasiuk.volodya@yandex.ru](mailto:stasiuk.volodya@yandex.ru) 0000-0002-8689-955X

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

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

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

Лесосечные работы выполняются различными типами машин и механизмов, которые обычно объединяются в комплекты. Состав комплекта зависит от технологической схемы, по которой организуются работы непосредственно на каждой делянке в зависимости от климатических, ландшафтных и других факторов. Повышение производительности комплекта машин связано с эффективностью работы машин и механизмов на отдельных операциях, но в значительной степени зависит и от правильности подбора машин в составе комплекта, их количества, производственных возможностей, конструктивных особенностей в зависимости от различных условий на каждой площадке. Важно в процессе планирования и управления лесосечными работами, учитывать согласованность работы лесных машин в комплекте, что предполагает определение оптимальных режимов работы каждой машины, количество определенных групп машин, производительности машин, времени их работы и т.д. По исследованиям, ученых различных научных организаций на предприятиях лесного комплекса, был сформирован список задач, для решения которых создаются автоматизированные системы оперативного планирования лесосечными работами (АОП ЛР). На основании АОП ЛР организовывается автоматизированное оперативное управления лесозаготовительными работами (АОУ ЛР). В состав комплекса первоочередных задач АОУ ЛР входят следующие группы задач: учета объемов выполненных работ на операциях лесосечных работ; анализ выполнения плановых заданий на лесосеке, определенных при решении задач оперативного планирования; выработка управляющих воздействий на процесс лесосечных работ; составления отчетных документов. Первоочередной состав задач оперативного управления логически следует из состава задач планирования. Положительным следствием данной взаимосвязи является общность информационной базы обоих комплексов задач, что значительно упрощает их эксплуатацию, как единого целого в качестве математического обеспечения автоматизированной системы управления лесосечными работами.

**Ключевые слова:** лесосека, лесосечные работы, комплекты машин, комплекс задач, автоматизированная система оперативного планирования, автоматизированное оперативное управление, лесозаготовительные работы программное обеспечение, лесной комплекс, лесовосстановительные работы, лесозаготовки, информационное пространство.

**Финансирование:** исследование не получало внешнее финансирование.

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

**Конфликт интересов:** авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

**Для цитирования:** Автоматизированное оперативное управление лесосечными работами: методологический анализ / А. Н. Заикин, В. В. Сиваков, В. А. Зеликов, А. С. Чуйков, А. И. Новиков, В. В. Стасюк // Лесотехнический журнал. – 2024. – Т. 14. – № 2 (54). – С. 204–226. – Библиогр.: с. 215–225 (84 назв.). – DOI: <https://doi.org/10.34220/issn.2222-7962/2024.2/12>.

**Поступила** 16.05.2024. **Пересмотрена** 05.06.2024. **Принята** 06.06.2024. **Опубликована онлайн** 17.06.2024.

*Review*

## Automatized management of logging operations: a methodological analysis

Anatolii N. Zaikin<sup>1</sup>, [zaikin.anatolij@yandex.ru](mailto:zaikin.anatolij@yandex.ru), <https://orcid.org/0000-0002-1831-6893>

Vladimir V. Sivakov<sup>1</sup>, [sv@bgitu.ru](mailto:sv@bgitu.ru), <https://orcid.org/0000-0002-0175-9030>

Vladimir A. Zelikov<sup>2</sup>, [zelikov-vrn@mail.ru](mailto:zelikov-vrn@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0003-2317-9413>

Alexey S. Chuikov<sup>3</sup>, [offlex88@belstu.by](mailto:offlex88@belstu.by), <https://orcid.org/0000-0002-6923-7212>

Arthur I. Novikov<sup>2</sup>, [arthur.novikov@vglta.vrn.ru](mailto:arthur.novikov@vglta.vrn.ru), <https://orcid.org/0000-0003-1230-0433>

Vladimir V. Stasyuk<sup>2</sup>, [stasiuk.volodya@yandex.ru](mailto:stasiuk.volodya@yandex.ru), <https://orcid.org/0000-0002-8689-955X>

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

<sup>2</sup>*Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, 8, Timiryazev street, Voronezh, 394087, Russian Federation*

<sup>3</sup>*Belarussian State Technological University, 13a Sverdlov str., Minsk, 220006, Belarus*

### Abstract

Logging operations are performed by various types of machines and mechanisms, which are usually combined into sets. The composition of the kit depends on the technological scheme according to which work is organized directly on each plot, depending on climatic, landscape and other factors. Increasing the productivity of a set of machines is associated with the efficiency of machines and mechanisms in individual operations, but it also largely depends on the correct selection of machines in the set, their number, production capabilities, design features depending on the different conditions at each site. It is important in the process of planning and managing logging operations to take into account the consistency of the operation of the complete forest machines, which involves determining the optimal operating modes of each machine, the number of certain groups of machines, the productivity of machines, their operating time, etc. According to research conducted by scientists of various scientific organizations at enterprises of the forestry complex, a list of tasks was formed, for which automated systems of operational planning of logging operations (AOP LR) are being created. Automated operational management of logging operations (AOU LR) is organized on the basis of AOP LR. The complex of priority tasks of the AOU LR includes knowledgeable groups of tasks; accounting for the volumes of work performed on logging operations; analysis of the fulfilment of planned tasks on the logging site, determined when solving operational planning tasks; development of control actions on the process of logging operations; preparation of accounting documents. The primary composition of operational management tasks logically follows from the composition of planning tasks. A positive consequence of this relationship is the commonality of the information base of both sets of tasks,

which greatly simplifies their operation as a single whole as a mathematical support for an automated logging management system.

**Keywords:** *logging area, logging operations, sets of machines, a set of tasks, automated operational planning system, automated operational management, logging operations software, forest complex, reforestation, logging, information space.*

**Funding:** The study did not receive external funding.

**Acknowledgements:** The authors thank the reviewers for their contribution to the peer review of the article.

**Conflict of interest:** The authors stated that there was no conflict of interest.

**For citation:** Zaikin A. N., Sivakov V. V., Zelikov V. A., Chuikov A. S, Novikov A. I., Stasyuk V. V. (2024). Automatized management of logging operations: a methodological analysis. *Lesotekhnicheskii zhurnal* [Forest Engineering journal], Vol. 14, No. 2 (54), pp. 204-226 (in Russian). DOI: <https://doi.org/10.34220/issn.2222-7962/2024.2/12>.

*Received* 16.05.2024. *Revised* 05.06.2024. *Accepted* 06.06.2024. *Published online* 17.06.2024.

### Введение

Объектом управления на лесосечных работах являются производственные операции – валка, трелевка, обрезка сучьев, погрузка, выполняемые производственными подразделениями и бригадами с использованием машин различного типа, а также оперативные запасы между этими операциями.

Возможность реализации производительности лесозаготовительных машин, заложенной производителем, зависит от технологических процессов лесосечных работ, ландшафтных условий, климатических условий и многих других случайных факторов, все эти факторы сложно прогнозировать и учесть при проектировании лесосечных работ.

Статистический анализ работы лесозаготовительных машин, показывает, что их производительность не только не стремится к какой-либо единой величине, но и наоборот, значительно отдалается друг от друга. Например, трелевочные машины по производительности до трех раз отстают от валочных машин, а от машин по обрезке сучьев примерно в два раза. Поэтому крайне сложно подобрать количество лесных машин разного профиля, чтобы производительность при выполнении каждой операции лесосечных работ приблизительно совпадала. Сменная производительность всего комплекса будет равна наименьшей производительности машины на одной из операций. Как следствие машины с более

высокой производительностью будут частично простаивать. Кроме того, объемы выработки машин с течением времени изменяются, а не остаются постоянными [1, 2, 3].

Колебание объемов выработки лесозаготовительных машин на смежных операциях и практическую невозможность выравнивания их производительности вызывает необходимость иметь запас деревьев между валкой и трелевкой; трелевкой и обрезкой сучьев; а также запас хлыстов между обрезкой сучьев и погрузкой-вывозкой [1, 4, 5].

Проведенные авторами наблюдения [5, 6, 7], а также другими коллективами авторов [1, 3, 8, 9, 10] показали, что объемы запасов должны быть заранее определены для каждой лесосеки в отдельности, создаваться, пополняться, потребляться и вырабатываться по предварительно рассчитанным режимам работы машин. Иначе, или производительность валочных (валочно-пакетирующих) машин окажется значительно выше требуемой, что грозит затовариванием площадей значительным объемом сваленных деревьев, или наоборот, трелевочные машины начнут простаивать из-за нехватки, также будут простаивать сучкорезные машины, погрузчики.

Известными (традиционными) методами рассчитать все необходимые данные для согласованного выполнения лесосечных работ сложно и трудно.

Задача решается значительно проще и легче с применением автоматизированного оперативного планирования и управления.

Информационные технологии [76] в настоящее время стали активно проникать во все сферы производственной деятельности человека – образование [11], промышленность [12, 13, 14], транспорт [15], проектирование [16, 17, 18, 19] и производство [20, 21], охрану труда [22]. Основой используемых цифровых технологий является широкое применение интернета вещей [23], интеллектуальных навигационных алгоритмов [70, 71], а также цифровых двойников изделий и процессов [24- 26].

При выборе лесных [82] машин (харвестеров, форвардеров, погрузчиков, сортиментовозов) входящих в комплекс для обеспечения необходимой производительности лесозаготовительного процесса [27-29] и возможностей дальнейшего лесовосстановления [72, 74] следует учитывать как технические и энергетические [73] характеристики машин, их ЭКБ [68, 69, 80], так и их способность адаптироваться в общее цифровое пространство [79, 81] предприятия, эффективно осуществлять планирование работ [30-31].

Лесозаготовительные машины – это сложная техника, а любая техника требует сервисного обслуживания и ремонта, поэтому при планировании лесозаготовительных работ является важным, чтобы техника была в исправном состоянии. Для управления сервисным обслуживанием машин на предприятиях, наряду с планово-предупредительной системой технического обслуживания и ремонта находят применение и другие системы, такие как планово-диагностический ремонт (плановое периодическое обслуживание с контролем технического состояния машин [32, 33], ремонт по фактическому состоянию [34, 35, 75], сервис [84], ориентированный на надежность [36], предотвращение рисков [37]. Применение такого рода систем основано на использовании удаленного контроля технического состояния узлов и агрегатов машины [38-39].

Цель исследования – сравнить авторскую методику с существующими методиками автоматизированного оперативного управления лесосечными

работами для повышения эффективности работы лесозаготовительных машин на основе цифровизации оперативного управления данными о работе машин.

### Материалы и методы

#### *Объект и предмет исследования*

Объектом исследования являются машины и оборудование лесосечных работ.

Предмет исследования - алгоритм взаимодействия лесосечных машин в процессе эксплуатации.

#### *Сбор данных*

Использовали систематический поиск, который проводили по базам данных ELibrary.ru и ресурсам сети Интернет по следующему алгоритму запроса: первоочередные задачи оперативного управления лесосечными работами. Проведенный анализ дал возможность определить круг задач оперативного управления лесосечными работами на основе исследований, проведенных научными группами кафедр Московского государственного технического университета, Брянского государственного инженерно-технологического университета, Воронежского государственного лесотехнического университета и др. вузов на предприятиях лесного комплекса. Определен комплекс задач, разработка и внедрение которого составляет первый этап создания автоматизированной системы оперативного управления лесосечными работами.

*Описание авторской методики автоматизированного оперативного управления работой лесозаготовительных машин*

Целью автоматизированного оперативного управления лесозаготовительными работами (АОУ ЛР) является своевременное определение и реализация эффективных управляющих воздействий на производственные операции, распределение работ [66, 78] и трудовых ресурсов [67, 77], обеспечивающих выполнение плановых объемов с наименьшими затратами [40].

Методика включает следующие шаги:

- перечень задач оперативного управления работой лесосечных машин;
- состав комплекса технических средств для автоматизированного оперативного управления работой лесосечных машин;
- принципиальная схема оперативного управления работой лесосечных машин;

## Технологии. Машины и оборудование

- последовательность и функциональная схема автоматизированного решения задач оперативного управления работой лесосечных машин.

В состав комплекса первоочередных задач АОУ ЛР (табл. 1) входят следующие группы задач:

УЛ-1. Учет объемов выполненных работ на операциях лесосечных работ; задачи учета расходов материальных ресурсов на лесосечных операциях. Назначением задач этой группы является формирование входной информации для решения остальных задач комплекса.

УЛ-2. Анализ выполнения плановых заданий на лесосеке, определенных при решении задач оперативного планирования. Результатами решения данных задач являются показатели степени отклоне-

ния фактических значений параметров функционирования объекта управления от соответствующих им расчетных значений.

УЛ-3. Выработка управляющих воздействий на процесс лесосечных работ. Если наблюдаемые отклонения параметров управляемого процесса превышают заданную норму, решение задач этой группы позволяет определить вид и оптимальную размерность результирующего воздействия на те или иные операции процессов лесосечных работ с целью выравнивания показателей выработки и, в конечном итоге, выполнения плановых заданий.

УЛ-4. Составления отчетных документов. В их состав будут входить оперативные данные по ходу лесосечных работ для составления отчетов и сравнения их с принятыми планами.

Таблица 1

Состав задач оперативного управления лесосечными работами

Table 1

The composition of the tasks of operational management of logging operations

Индекс задачи Task index	Назначение задачи Task assignment	Состав входных данных The composition of the input data	Состав выходных данных The composition of the output data	Тип устройства Device Type
УЛ-1	Учет объема выполненных работ и расхода ресурсов Accounting for the amount of work performed and resource consumption			
УЛ-1.1	на валке леса on the felling of the forest	Параметры деревьев и хлыстов, расход ресурсов Parameters of trees and whips, resource consumption	Общий объем обработанной древесины за смену, наличие ресурсов Total volume of processed wood per shift, availability of resources	Измерительные устройства лесозаготовительных машин Measuring devices of logging machines
УЛ-1.2	на трелевке леса on the skidding of the forest			
УЛ-1.3	на обрезке сучьев on pruning branches			
УЛ-2	Обработка и анализ данных по объемам выполненных работ, расходу ресурсов и состоянию машин Processing and analysis of data on the volume of work performed, resource consumption and machine condition	Данные об объемах выполненных работ, израсходованных ресурсах по операциям и состоянию машин Data on the amount of work performed, resources spent on operations and the condition of machines	Суммарные данные об объемах работ, ресурсах запасах по бригадам, мастерским участкам за смену и состоянии машин Summary data on the volume of work, inventory resources by teams, workshop sites per shift and the condition of the machines	Персональные ЭВМ Personal computers

Индекс задачи Task index	Назначение задачи Task assignment	Состав входных данных The composition of the input data	Состав выходных данных The composition of the output data	Тип устройства Device Type
УЛ-3	Выработка управляющих воздействий на производственный процесс Development of control actions on the production process	Текущие данные по объемам работ, режимам работы машин, запасам древесины, ресурсам по машинам, бригадам, участкам Current data on the volume of work, modes of operation of machines, wood reserves, resources by machines, crews, sites	О времени простоя маши, производственно-экономические показатели, вид управляющих воздействий About machine downtime, production and economic indicators, type control actions	Персональные ЭВМ Personal computers
УЛ-4	Формирование, передача отчетной информации или печать отчетных документов Formation, transmission of accounting information or printing of accounting documents	То же Too	Оперативная сводка о выполнении плана – расход и наличие ресурсов Operational summary on the implementation of the plan – expenditure and availability of resources	Персональные ЭВМ Personal computers

Источник: собственные данные авторов

Source: authors' own data

Поскольку возможно контролировать лишь показатели, фигурирующие в качестве результатов решения задач АОП ЛР, первоочередной состав задач оперативного управления логически следует из состава задач планирования. Положительным следствием данной взаимосвязи является общность информационной базы обоих комплексов задач, что значительно упрощает их эксплуатацию, как единого целого в качестве математического обеспечения автоматизированной системы управления лесосечными работами.

Автоматизацию оперативного управления планируется осуществлять без увеличения или даже с уменьшением штатов управленческого персонала на лесосечных работах, только путем автоматизации операций учета, обработки и анализа данных учета и выработки на их основе соответствующих управленческих решений.

Вполне очевидно, что это возможно лишь при оснащении производства техническими средствами связи и учета.

Схему оперативного управления лесосечными работами в общем виде можно представить себе следующим образом. Установленные на лесозаготовительных машинах (валочных, трелевочных, сучкорезных и д.р.) специальные устройства индивидуального учета выполненных работ передают с помощью встроенных в конструкцию машины изготовителем или устанавливаемого дополнительно телематического оборудования информацию на сервер компании, а затем владельцу техники (рис. 1).

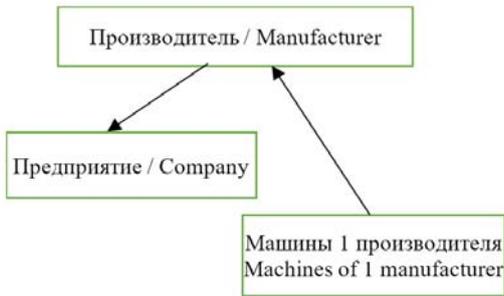


Рисунок 1. Схема работы с информацией, получаемой от машин, производителю, имеющему собственное аналитическое ПО

Источник: Собственная схема авторов

Figure 1. A scheme for working with information received from machines to a manufacturer with its own analytical software

Source: Authors' own scheme

Такой вариант работы используется компаниями Komatsu и John Deere, пользователи с помощью программ MaxiXplorer и TimberLink (рис. 2) имеют возможность получения информации о состоянии машины, ее производительности.

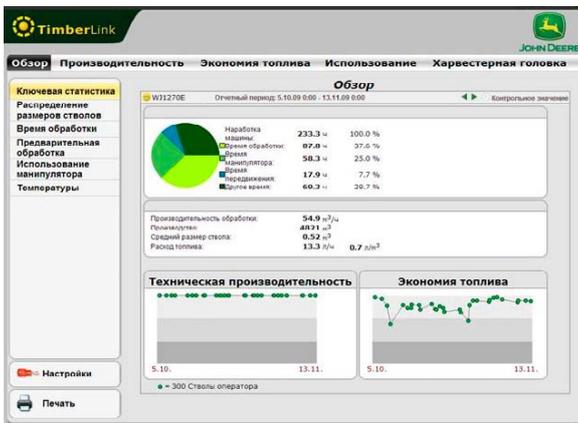


Рисунок 2. Пример интерфейса системы управления TimberLink

Источник: Система удаленного мониторинга техники JDLink. URL: <https://tmbk.ru/media/k2/attachments/Буклет%20Система%20удаленного%20мониторинга%20техники%20JDLink.pdf> (дата обращения: 20.02.2024)

Figure 2. An example of the TimberLink management system

Source: <https://tmbk.ru/media/k2/attachments/Буклет%20Система%20удаленного%20мониторинга%20техники%20JDLink.pdf> (20.02.2024)

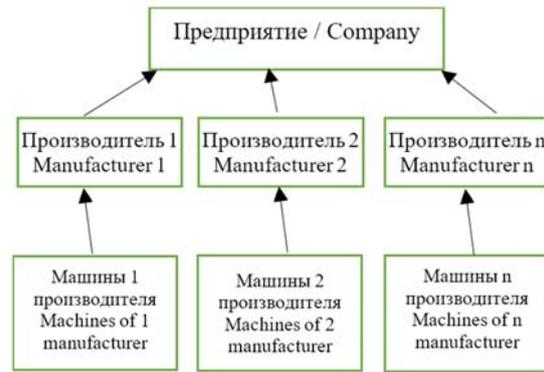


Рисунок 3. Схема работы с информацией, получаемой от машин, разных производителей, имеющих собственное аналитическое ПО

Источник: Собственная схема авторов

Figure 3. The scheme of working with information received from machines from different manufacturers that have their own analytical software

Source: Authors' own scheme

В случае использования на предприятии машин нескольких производителей, владелец сталкивается с необходимостью использования специализированного программного обеспечения каждого производителя, что создает дополнительные сложности при анализе деятельности всего парка машин (разных производителей) (рис. 3).

Выходом из создавшейся ситуации может стать такой вариант работы, когда информация с машин разных производителей поступает не на сервер соответствующего производителя, а в используемую предприятием ERP систему (рис. 4). Такой принцип работы применяется компанией Ponsse, используя для этого технологию API (рис. 5). Устанавливаемые при этом комплекты оборудования на рабочие машины позволяют получать данные со всех машин (такое решение уже применяется в сельском хозяйстве) [41].

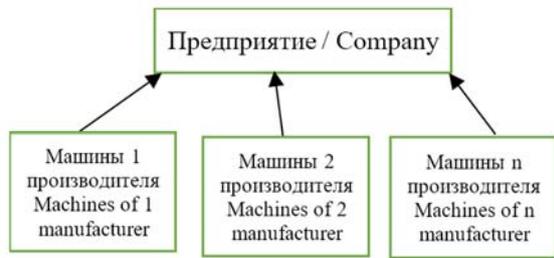


Рисунок 4. Схема работы с информацией, получаемой от машин, разных производителей, в ERP систему владельца

Источник: Собственная схема авторов

Figure 4. The scheme of working with information received from machines from different manufacturers into the ERP system of the owner

Source: Authors' own scheme

Применение технологий контроля режимов работы и технического состояния лесозаготовительной техники повысит эффективность планирования и управления посредством комплексного мониторинга транспорта, минимизирует затраты на заготовку и вывозку древесины. Так, по данным компании Omnicomm оборудование контроля топлива дает до 30 % экономии ГСМ, обеспечивает безопасность технологических процессов и улучшает выработку техники на 30-35 % за счет оснащения автопарка бортовыми устройствами ГЛОНАСС / GPS, собирающими и передающими в платформу мониторинга большое количество параметров состояния и движения, а также события в реальном времени. При работе машин вне зоны покрытия сотовой сети, данные можно загружать в облако через специально предусмотренную систему Omnicomm PORT (Системы мониторинга для лесозаготовительной техники) (рис. 6).

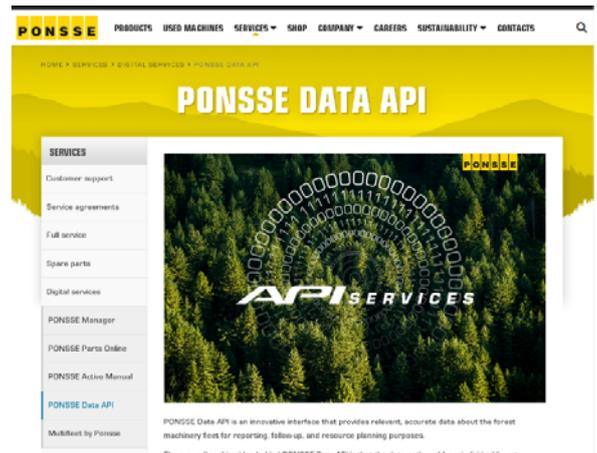


Рисунок 5. Веб-страница ресурса

Источник: [https://www.ponsse.com/en/ponsse-data-api#/#/](https://www.ponsse.com/en/ponsse-data-api#/)

Figure 4. The web page of the resource

Source: <https://www.ponsse.com/en/ponsse-data-api#/#/>

Как показывают работы ряда авторов [42, 43, 44], применение новых технологий, например, датчиков, отслеживающих состояние отдельных деревьев, позволяет повысить эффективность использования харвестеров на лесозаготовках.

Имеющаяся информация о состоянии древесины на каждом этапе – от заготовки до транспортировки позволяет эффективно распоряжаться имеющимися ресурсами [45, 46, 47].

Необходимо учитывать, что достаточно низкий уровень прохождения сигналов в лесу [48] создает проблемы в плане оперативной передачи информации с работающих машин на сервер предприятия, поэтому возникает необходимость в использовании дополнительных средств ретрансляции сигнала [49, 50].

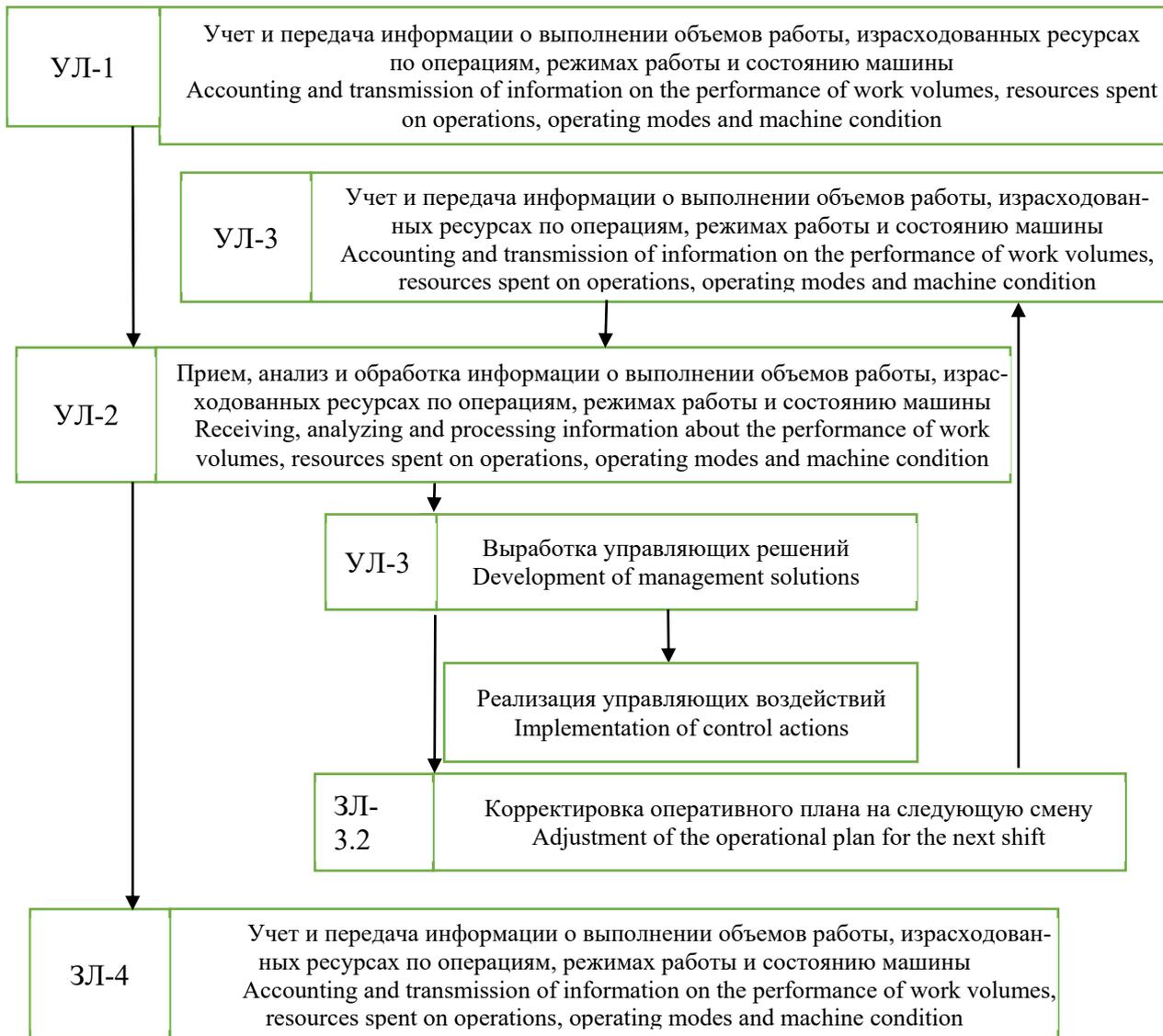


Рисунок 6. Последовательность и функциональная схема автоматизированного решения задач оперативного управления лесосечными работами израсходованных ресурсах по операциям, режимах работы и состоянию машин

Источник: Собственная схема авторов

Figure 6. The sequence and functional scheme of the automated solution of tasks of operational management of logging operations of spent resources on operations, modes of operation and condition of machines

Source: Authors' own scheme

Передаваемая информация о количестве древесины, поступающей от валки к трелевке, от трелевки к обрезке сучьев и от обрезки сучьев к погрузке, режимах работы машин, израсходованных ресурсах по операциям и состоянию машин, должна накапливаться на сервере и выводиться при необходимости на компьютер или смартфон. Все это позволяет руководителю в любой момент времени

иметь информацию о ходе лесосечных работ по объему сваленных деревьев, объему стрелованных деревьев, объему деревьев, очищенных от сучьев, объему запасов между операциями, режимах работы машин, израсходованных ресурсах по операциям и состоянию машин. Анализ полученных данных даст возможность определить наличие отклонений в выполнении плана разработки лесосеки.

Задача УЛ-3 может также решаться в автоматическом режиме. Смыслом этой задачи является определение вида управляющего воздействия при отклонении хода выполнения операций лесосечных работ от планового. Такими управляющими воздействиями могут быть подключение и вывод резервных машин, вывод из работы основных машин, доставка горючих и других материалов, проведение технического обслуживания и ремонта и т.д. Эффективная работа парка машин в этом случае будет зависеть от создания единой цифровой среды [51, 52, 53, 54, 55, 56, 57].

### *Анализ данных*

С целью определения места авторской методики в ряду имеющихся методик автоматизированного управления сформировали пять критериев применимости (или эффективности):

Критерий 1 – Направленность (ориентация на область использования)

Критерий 2 - Тип применяемой модели (основанность решения задачи)

Критерий 3 - Встраиваемость (Возможность встраивания в имеющееся ПО)

Критерий 4 - Возможность учета технического состояния машин

Критерий 5 - Возможность использования машин разных производителей

Статистическую обработку данных для оценки *степень сходства и различия* известных и авторской методики проводили с помощью специализированного программного обеспечения *SPSS Statistics v25* по аналогии с ранее проведенными исследованиями [3].

Визуализацию сравнения критериев, согласно А.Н. Заикину и др. (2023) [3], проводили кластерной [83] «*диаграммой (рис. 7), по оси абсцисс которой откладывали меру Жаккара (Jaccard) для бинарных данных, вычисленную по методу межгрупповой связи, а по оси ординат – критерии оценки 3-5 [3]*».

### Результаты

Результаты сравнения имеющихся методик с учетом предложенных нами критериев приведены в таблице 2. Таблица выполнено на основании анализа научных разработок, результаты которых представлены списком литературы.

Кластерная диаграмм, построенная на основании табл. 2, отображена на рис. 7.

Таблица 2

Сравнение методик автоматизированного управления работой лесосечных машин

Table 2

Comparison of methods of automated control of cutting machines

Методика Methodology	Критерий 1 Criterion 1	Критерий 2 Criterion 2	Критерий 3 Criterion 3	Критерий 4 Criterion 4	Критерий 5 Criterion 5
1 методика (авторская) methodology (author's)	Максимальный объем выработки комплекта машин при минимуме затрат  The maximum volume of production of a set of machines at a minimum cost	Математическое и имитационное моделирование  Mathematical and simulation modeling	Имеется  is available	Планируется предусмотреть  It is planned to provide	Возможно  Possible
2 методика [2] methodology [2]	Минимальная себестоимость вывозки леса  Minimum cost of timber removal	алгоритмы Басакера — Гоуэна и Форда — Беллмана  algorithms	Не предусмотрено  Not provided	Не имеется  Not available	Возможно  Possible

Методика Methodology	Критерий 1 Criterion 1	Критерий 2 Criterion 2	Критерий 3 Criterion 3	Критерий 4 Criterion 4	Критерий 5 Criterion 5
		Basaker—Gowan and Ford—Bellman			
3 методика [64] Джон Дир Methodology [64] John Deere	Максимальный объем выработки машин Maximum output of machines	Анализ статистических данных Analysis of statistical data	Имеется is available	Имеется is available	Нет No
4 методика [59] methodology [59]	Максимальный объем выработки машин Maximum output of machines	Системный анализ System analysis	Имеется is available	Не имеется Not available	Возможно Possible

Источник: собственные данные авторов

Source: authors' own data

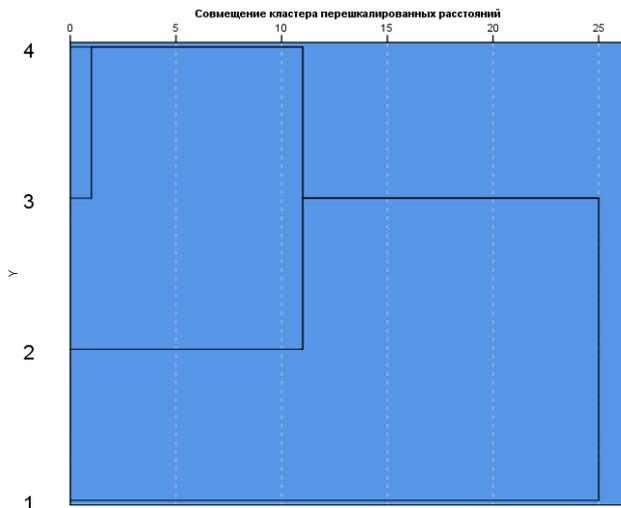


Рисунок 7. Кластерная диаграмма для сравнительного анализа авторской (методика 1) и существующих (2-4) методик (ось Y) автоматизированного управления работой лесосечных машин по критериям 3-5 из табл. 2  
Figure 7. Cluster diagram for comparative analysis of the author's (method 1) and existing (2-4) methods (Y-axis) of automated control of the operation of cutting machines according to criteria 3-5 in table 2

Источник: собственные результаты авторов  
Source: own results

### Обсуждение

Используемые машины должны быть максимально автоматизированы для снижения нагрузки на оператора, уменьшения совершаемых им ошибок. Например, определять характеристики древесины, автоматически определять породу дерева [58, 59, 60, 61, 62], а при работе в сложных условиях, таких как заготовка древесины в лесах, подвергшихся радиационному загрязнению [63], определять уровень радиационного загрязнения древесины.

Безусловным является также постепенность или этапность работ по созданию АОП и АОУ для лесосеки; в процессе которых определится экономически и производственно оптимальная по сложности система управления.

Проведенный анализ имеющихся методик автоматизированного управления работой лесозаготовительных машин показал, что рассматриваемые методики разноплановы и требуют обобщенности.

Методика 2 (табл. 2) ориентирована, в основном, на логистические операции по транспортировке леса.

Методики 3, 4 направлены на повышение эффективности использования отдельных машин.

Предлагаемая авторская методика автоматизированного управления работой лесосечных машин может быть создана как на базе специализированных программных решений отдельных производителей, так и на базе универсального программ-

ного обеспечения с установкой дополнительных модулей, позволяющих собирать необходимые данные о режимах работы лесосечных машин на каждой операции лесозаготовок, объему заготовленной древесины и состоянию технических средств.

Для автоматизированного решения задач оперативного управления лесосечными работами (состав, назначение и методика использования изложены выше) требуются следующие технические средства:

устройства для измерения объемов работ (УО) запоминания и передачи информации (УЗ и УП) на всех лесозаготовительных машинах;

пункт ретрансляции для организации передачи информации на сервер предприятия, ее обработки и выработки управляющих решений (УПР).

При разработке перечисленных средств оперативного управления следует иметь в виду, что они должны надежно работать в лесных условиях [64, 65].

Вычислительные, запоминающие устройства желательно использовать из серийно выпускаемых с возможностью блочной замены и ремонта. Большое значение имеет также стоимость и простота обслуживания.

### Заключение

Предлагаемая авторами методика дает возможность максимально реализовать заложенный изготовителем потенциал производительности каждой машины из комплекта, обеспечить требуемый объем выработки, уменьшить сроки разработки лесосеки при минимальных эксплуатационных затратах с учетом улучшения экологичности лесосечных машин.

В настоящее время проводятся работы по совершенствованию предлагаемой методики в области учета простоя машин по техническим причинам, в том числе по ТО и Р.

### Список литературы

1. Mokhiev A., Rukomoynikov K. Graphic-analytical modelling of technological chain of logging operations in dynamic natural and production conditions // IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science, 2019, v. 316, p. 012039. DOI: 10.1088/1755-1315/316/1/01203.
2. Программное средство для нахождения оптимальной последовательности технологических операций производственного процесса лесозаготовительного предприятия / А. П. Мохирев, М. М. Герасимова, К. П. Рукомойников, Т. В. Сергеева // Лесной вестник. Forestry Bulletin. 2022. Т. 26, № 1. С. 114-125. DOI 10.18698/2542-1468-2022-1-114-125.
3. Заикин А. Н., Сиваков В. В., Новикова Т. П., Зеликов В. А., Стасюк В. В., Чуйков А. С. Программное обеспечение для управления системой технического обслуживания и ремонта лесных машин: оценка применимости // Лесотехнический журнал. 2023. Т.13. № 2 (50). С. 105–127. DOI: 10.34220/issn.2222-7962/2023.2/6.
4. Рукомойников К. П., Мохирев А. П. Обоснование технологической схемы лесозаготовительных работ путем создания динамической модели функционирования предприятия // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. 2019. № 4(370). С. 94-107. DOI 10.17238/issn0536-1036.2019.4.94.
5. Заикин А. Н., Меркелов В. М., Сиваков В. В. К вопросу оперативного планирования и управления лесосечными работами // Экономика и эффективность организации производства. 2020. № 32. С. 120-122.
6. Заикин А. Н. Типы и назначение запасов древесины в производственном процессе лесозаготовок // Лесн. журн. 2013. № 3. С. 71-78. (Изв. высш. учеб. заведений).
7. Заикин А. Н., Рыжикова Е. Г., Теремкова И. И. Метод оперативного планирования и управления лесосечными работами // Лесн. журн. 2017 № 2 С. 107-118 (Изв. высш. учеб. заведений). DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.2.107
8. Мохирев А. П., Горяева Е. В., Медведев С. О. Оценка технологических процессов лесозаготовительных предприятий // Лесотехнический журнал. 2016. Т. 6, № 4(24). С. 139-147. DOI 10.12737/23448.

9. Design of logging infrastructure in consideration of the dynamically changing environment / A. Mokhiev, K. Rukomojnikov, M. Gerasimova, S. Medvedev // *Journal of the Korean Wood Science and Technology*. 2021. Vol. 49, No. 3. P. 254-266. DOI 10.5658/WOOD.2021.49.3.254.
10. Имитационное моделирование технологического процесса заготовки древесины на примере лесного харвестера / К. П. Рукомойников, Т. В. Сергеева, Т. А. Гилязова [и др.] // *Лесной вестник. Forestry Bulletin*. 2023. Т. 27, № 3. С. 69-80. DOI 10.18698/2542-1468-2023-3-69-80.
11. Автоматизация ведения учебно-методической документации образовательной организации / В. В. Сиваков, А. А. Соломников, И. Ю. Адамович, С. П. Строев // *Высшее образование в России*. 2021. Т. 30, № 8-9. С. 34-43. DOI 10.31992/0869-3617-2021-30-8-9-34-43.
12. Meissner H., Iلسena 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. Сиваков В. В. Внедрение информационных технологий при организации пассажирских маршрутных перевозок в г.Брянске / В. В. Сиваков, К. С. Боровая // *Транспортное дело России*. 2019. № 4. С. 98-99.
16. The use of information technology in the design of chippers for the production of technological chips / V. Sivakov, S. Gryadunov, A. Buglaev [et al.] // *E3s web of conferences: VIII International Conference on Advanced Agritechnologies, Environmental Engineering and Sustainable Development (AGRITECH-VIII 2023)*, Krasnoyarsk, 29–31 марта 2023 года. Vol. 390. EDP Sciences: EDP Sciences, 2023. P. 03027. DOI 10.1051/e3sconf/202339003027.
17. Белов В. Ф. Архитектура цифровой платформы исследования и проектирования инноваций в машино- и приборостроении / В. Ф. Белов, С. С. Гаврюшин, А. И. Занкин // *Известия высших учебных заведений. Машиностроение*. 2021. № 3(732). С.3-15. DOI 10.18698/0536-1044-2021-3-3-15.
18. Бовтеев С. В. Разработка метода создания семейств строительных машин и оборудования для 3D и 4D моделирования / С. В. Бовтеев, Н. И. Веселова // *Системные технологии*. 2022. №3(44). С. 14-23. DOI: 10.55287/22275398\_2022\_3\_14.
19. Hawkes P., Kasper E. (1996). The Finite-Element Method (FEM). 10.1016/B978-012333340-7/50191-5.
20. Шантыко А. С. ОАО "Гомсельмаш": на пути к цифровизации производства / А. С. Шантыко, В. И. Козлов, С. В. Карабанькова // *Цифровая трансформация*. 2018. № 4. С. 16-26.
21. Erpalov A., Khoroshevskii K., Gadolina I. (2023). Actual problems of creating digital twins of machine engineering products in terms of durability assessment. *Industrial laboratory. Diagnostics of materials*. 89. 67-75. DOI: 10.26896/1028-6861-2023-89-8-67-75.
22. Sivakov V., Buglaev A., Zaikin A., Orekhovskaya A., Nurullin A., Razetdinov I. Improving the training of employees of logging enterprises in the field of labor protection. *E3S Web Conf*. 486 04007 (2024). DOI: 10.1051/e3sconf/202448604007.
23. Gavrilović N., Mishra A. (2021). Software architecture of the internet of things (IoT) for smart city, healthcare and agriculture: analysis and improvement directions. *J Ambient Intell Human Comput* 12, 1315–1336. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12652-020-02197-3>.
24. Parshina I. S., Frolov E. B. Development of a digital twin of the production system on the basis of modern digital technologies. *Ekonomika v promyshlennosti = Russian Journal of Industrial Economics*, 2020. Vol. 13. No. 1. Pp. 29–34. (In Russ.). DOI: 10.17073/2072-1633-2020-1-29-34.
25. Ashtari B., Jung T., Lindemann B., Sahlab N., Jazdi, N., Schloegl, W., Weyrich M. (2019). An architecture of an Intelligent Digital Twin in a Cyber-Physical Production System. *Automatisierungstechnik*. 67. 762-72. DOI: 10.1515/auto-2019-0039.8.

26. Shvedenko V., Mozokhin A. (2020). Concept of digital twins at life cycle stages of production systems. *Scientific and Technical Journal of Information Technologies, Mechanics and Optics*. 20. 815-827. DOI:10.17586/2226-1494-2020-20-6-815-827.
27. Linhares M., Sette Jr. C.R., Campos F., Yamaji F. (2012). Harvester and Forwarder machines efficiency and operational performance in forest harvesting. *Pesquisa Agropecuária Tropical*. 42. 212-219. DOI:10.1590/S1983-40632012000200007.
28. Danilović M., Antić S., Stojnić D., Cirović V., Milikić D. (2022). Productivity of Komatsu 951G harvester in tree felling and production wood assortments in forest area damaged by wind. *Topola*. 5-11. DOI:10.5937/topola2209005D.
29. Применение комплексов лесозаготовительных машин в условиях Республики Башкортостан / А. Н. Заикин, В. В. Сиваков, Н. А. Булхов [и др.] // *Известия высших учебных заведений. Лесной журнал*. 2022. № 3(387). С. 139-152. DOI 10.37482/0536-1036-2022-3-139-152.
30. Labelle E. R., Kemmerer J. (2022). Business Process Reengineering of a Large-Scale Public Forest Enterprise Through Harvester Data Integration. *Croatian journal of forest engineering*. 43. DOI: 10.5552/crojfe.2022.1129.
31. Söderberg J., Wallerman J., Almäng A., Möller J., Willén E. (2021). Operational prediction of forest attributes using standardised harvester data and airborne laser scanning data in Sweden. *Scandinavian Journal of Forest Research*. 36. 1-9. DOI: 10.1080/02827581.2021.1919751.
32. Безуглов А. Е., Кислицына О. А. Ключевые показатели эффективности при проведении технического обслуживания и ремонта оборудования // *Вопросы инновационной экономики*. 2019. Том 9. № 4. С. 1501-1514. doi: 10.18334/vines.9.4.41208.
33. Pomogaev V. M., Redreev G. V. Information support in the system of maintenance and repair of mobile machines in agriculture. *Vestnik of Omsk SAU*. 2022; 2(46): 145-152, DOI 10.48136/2222-0364\_2022\_2\_145.
34. Костыгов А. М. Автоматизированная информационная поддержка процессов планирования технического обслуживания и ремонта энергооборудования по фактическому состоянию / А. М. Костыгов, Д. К. Елтышев // *Информационно-измерительные и управляющие системы*. 2019. Т. 17, № 4. С. 46-53. DOI: 10.18127/j20700814-201904-06. <https://elibrary.ru/ouggxk>.
35. 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.
36. 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.
37. 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.
38. 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.
39. Kim G.-H., Kim, K.-D., Lee H.-S., Choi Y, Mun H.-S., Oh J.-H., Shin B.-S. (2021). Development of Wi-Fi-Based Teleoperation System for Forest Harvester. *Journal of Biosystems Engineering*. 46. DOI: 10.1007/s42853-021-00100-2.
40. Заикин А. Н., Теремкова И. И., Афоничев Д. Н. Методика автоматизированного оперативного планирования лесосечных работ. *Вестник Воронежского государственного аграрного университета*. 2017. № 3 (54). С. 102-109.

41. Голубев И. Г., Мишуров Н. П., Гольяпин В. Я., Апатенко А. С., Севрюгина Н. С. Системы телеметрии и мониторинга сельскохозяйственной техники: аналит. обзор. М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2020. 76 с.
42. Keefe R., Zimbelman E., Picchi G. (2022). Use of Individual Tree and Product Level Data to Improve Operational Forestry. *Current Forestry Reports*. 8. 3. 10.1007/s40725-022-00160-3.
43. Picchi G., Sandak J., Grigolato S., Panzacchi P., Tognetti R. (2022). Smart Harvest Operations and Timber Processing for Improved Forest Management. 10.1007/978-3-030-80767-2\_9.
44. Torresan C., Benito-Garzon M., O'Grady M., Robson T. et al. (2021). A new generation of sensors and monitoring tools to support climate-smart forestry practices. *Canadian Journal of Forest Research*. 51. 10.1139/cjfr-2020-0295.
45. Kaulen A., Stopfer L., Lippert K., Purfürst T. (2023). Systematics of Forestry Technology for Tracing the Timber Supply Chain. *Forests*. 14. 10.3390/f14091718.
46. Pichler G., Sandak J., Picchi G., Kastner M. et al. (2022). Timber Tracking in a Mountain Forest Supply Chain: A Case Study to Analyze Functionality, Bottlenecks, Risks, and Costs. *Forests*. 13. 1373. 10.3390/f13091373.
47. Keefe R., Wempe A., Becker R., Zimbelman E., Nagler E., Gilbert S., Caudill C. (2019). Positioning Methods and the Use of Location and Activity Data in Forests. *Forests*. 10. 458. 10.3390/f10050458.
48. Zimbelman E., Keefe R. (2022). Lost in the woods: Forest vegetation, and not topography, most affects the connectivity of mesh radio networks for public safety. *PLOS ONE*. 17. e0278645. 10.1371/journal.pone.0278645.
49. Kim G.-H., Kim, K.-D., Lee H.-S., Choi Y, Mun H.-S., Oh J.-H., Shin B.-S. (2021). Development of Wi-Fi-Based Teleoperation System for Forest Harvester. *Journal of Biosystems Engineering*. 46. DOI: 10.1007/s42853-021-00100-2.
50. Lopatin E., Väättäin K., Kukko A. et al. (2023). Unlocking Digitalization in Forest Operations with Viewshed Analysis to Improve GNSS Positioning Accuracy. *Forests*. 14. 689. 10.3390/f14040689.
51. Программное обеспечение для управления системой технического обслуживания и ремонта лесных машин: оценка применимости / А. Н. Заикин, В. В. Сиваков, Т. П. Новикова [и др.] // *Лесотехнический журнал*. 2023. Т.13, № 2(50). С.105-127. DOI 10.34220/issn.2222-7962/2023.2/6.
52. Программное обеспечение для управления лесохозяйственным и лесозаготовительным процессами: оценка применимости / А. Н. Заикин, В. В. Сиваков, В. А. Зеликов [и др.] // *Лесотехнический журнал*. 2022. Т. 12, № 1(45). С. 96-109. DOI 10.34220/issn.2222-7962/2022.1/8.
53. Сафиуллин, Р. Н. Обоснование структуры автоматизированной системы контроля технического состояния транспортного средства на основе матричного QR-кода / Р. Н. Сафиуллин, О. П. Пыркин, К. В. Сорокин // *Технико-технологические проблемы сервиса*. 2023. № 2(64). С. 17-22. URL: <https://elibrary.ru/gblmxf>.
54. Kemmerer J., Labelle E. R. (2021). Using harvester data from on-board computers: a review of key findings, opportunities and challenges. *European Journal of Forest Research*. 140. DOI: 10.1007/s10342-020-01313-4.
55. Запруднов В. И., Карпачев С. П., Быковский М. А. Потребность парка лесосечных машин в техническом обслуживании // *Лесной вестник. Forestry Bulletin*. 2017. Т. 21. № 2. С. 76–79. DOI:10.18698/2542-1468-2017-2-76-79.
56. Катаев Ю. В., Градов Е. А., Тишанинов И. А. Контроль технического состояния сельскохозяйственной техники через онлайн-мониторинг параметров // *Сельскохозяйственная техника: обслуживание и ремонт*. 2022; 1. DOI: 10.33920/sel-10-2201-03.
57. Erokhin M. N., Dorokhov A. S., Kataev Yu. V. Intelligent system for diagnosing the parameters of the technical condition of tractors. *Agricultural Engineering (Moscow)*. 2021;(2):45-50. (In Russ.) <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2021-2-45-50>
58. Information support of the dynamics of system connectivity of wheel harvester operations / F. Svoikin, V. Svoikin, S. Bazarov [et al.] // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* : 2, Saint Petersburg, Virtual, 18–19 марта 2021 года. – Saint Petersburg, Virtual, 2021. – P. 012031. DOI 10.1088/1755-1315/806/1/012031.

59. Информационное обеспечение динамики системной связности операций валочно-сучкорезно-раскряжевочной машины / Ф. В. Свойкин, В. Ф. Свойкин, С. М. Базаров, С. А. Угрюмов // Ремонт. Восстановление. Модернизация. 2022. № 2. С. 37-41. DOI 10.31044/1684-2561-2022-0-2-37-41.
60. Размерно-качественные характеристики круглых сортиментов, заготавливаемых с применением многооперационных лесных машин / К. Д. Жук, С. А. Угрюмов, Ф. В. Свойкин, В. Ф. Свойкин // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. 2022. № 5(389). С. 114-130. DOI 10.37482/0536-1036-2022-5-114-130.
61. Жук К. Д. Распознавание пород деревьев в процессе лесозаготовки с применением методов машинного обучения / К. Д. Жук, С. А. Угрюмов, Ф. В. Свойкин // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2023. № 242. С.167-178. DOI 10.21266/2079-4304.2023.242.167-178.
62. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2023681124 Российская Федерация. Программа определения породы ствола заготавливаемого дерева для валочно-сучкорезно-раскряжевочных машин stmPredict : № 2023669997 : заявл. 29.09.2023 : опубл. 10.10.2023 / К. Д. Жук, С. А. Угрюмов, Ф. В. Свойкин; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова».
63. Повышение эффективности работы машин и оборудования при заготовке древесины в лесах с радиоактивным загрязнением / А. Н. Заикин, А. С. Торопов, В. М. Меркелов, В. В. Сиваков // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. 2020. № 1(373). С. 113-127. DOI 10.37482/0536-1036-2020-1-113-127.
64. Цифровизация системы организации рабочих процессов лесозаготовительных машин: оценка эффективности на примере «Ponsse», «Komatsu» и «John Deere» / В. В. Сиваков, А. Н. Заикин, Т. П. Новикова [и др.] // Лесотехнический журнал. 2023. Т. 13, № 3(51). С. 200-218. DOI 10.34220/issn.2222-7962/2023.3/14.
65. Rukomoynikov K. P., Sergeeva T. V., Gilyazova T. A., Tsarev E. M., Anisimov P. N. (2023). Modeling operation of forest harvester in AnyLogic simulation system. Forestry Bulletin. 27. 69-80. 10.18698/2542-1468-2023-3-69-80.
66. 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. – URL: <https://elibrary.ru/tondhd>.
67. 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. URL: <https://elibrary.ru/vxxdjz>.
68. Затворницкий, А. П. Оптимальное планирование комплексных проектов создания электронной компонентной базы / А. П. Затворницкий // Информационные системы и технологии. – 2013. – № 3(65). – С. 5-10. – URL: <https://www.elibrary.ru/ntnxin>.
69. 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>.
70. 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>.
71. 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>. URL: <https://elibrary.ru/dkxphx>.
72. 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>.
73. 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. URL: <https://elibrary.ru/slkaqt>.

74. Патент № 2714705 Российская Федерация, МПК A01G 23/00. Способ восстановления леса : № 2019115418 : заявл. 20.05.2019 : опубл. 19.02.2020 / А. И. Новиков. – URL: <https://www.elibrary.ru/gzdlvj>.
75. 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.]. – URL: <https://www.elibrary.ru/nrywgh>.
76. Разработка алгоритма и модели функционирования информационной системы для малого сельскохозяйственного предприятия / Т. В. Новикова [и др.] // Моделирование систем и процессов. – 2020. – Т. 13, № 4. С. 53-58. – DOI 10.12737/2219-0767-2021-13-4-53-58. – URL: <https://www.elibrary.ru/qdcyju>.
77. 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, Rajcke Teplice, Slovak Republic. – Rajcke Teplice, Slovak Republic: University of Zilina, 2018. – P. 2275-2281. – URL: <https://www.elibrary.ru/yxkpw>.
78. Математическая модель оптимального распределения работ в сетевых канонических структурах / О. В. Авсева [и др.] // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. – 2013. – № 5(301). – С. 48-52. – URL: <https://www.elibrary.ru/sjqbtb>.
79. Наноэлектроника: 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. – URL: <https://www.elibrary.ru/tjbbkj>.
80. 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. – URL: <https://www.elibrary.ru/rewhat>.
81. Облачные технологии – становление и перспективы развития / В. В. Лядов [и др.] // Моделирование систем и процессов. – 2013. – № 1. – С. 37-39. – URL: <https://www.elibrary.ru/rbjpfr>.
82. Гидромеханические трансмиссии лесотранспортных машин: технологическая связь с воздействием на почвенно-растительную среду / П. А. Сокол [и др.] // Лесотехнический журнал. – 2023. – Т. 13, № 2(50). – С. 179-197. – DOI 10.34220/issn.2222-7962/2023.2/10. – URL: <https://www.elibrary.ru/PJGNOX>.
83. Алгоритм анализа клиентской базы торговой организации / С. А. Евдокимова [и др.] // Моделирование систем и процессов. – 2022. – Т. 15, № 1. – С. 24-35. – DOI 10.12737/2219-0767-2022-15-1-24-35. – URL: <https://www.elibrary.ru/YJSTFW>.
84. Анализ товарного ассортимента запасных частей дилерского предприятия автомобильного сервиса с помощью алгоритма FP-Growth / С. А. Евдокимова [и др.] // Моделирование систем и процессов. – 2022. – Т. 15, № 4. – С. 24-33. – DOI 10.12737/2219-0767-2022-15-4-24-33. – URL: <https://www.elibrary.ru/jenghb>.

### References

1. Mokhiev A., Rukomoynikov K. Graphic-analytical modelling of technological chain of logging operations in dynamic natural and production conditions // IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science, 2019, v. 316, p. 012039. DOI: 10.1088/1755-1315/316/1/012039.
2. Programmnoe sredstvo dlya nahozhdeniya optimal'noj posledovatel'nosti tekhnologicheskikh operacij proizvodstvennogo processa lesozagotovitel'nogo predpriyatiya / A. P. Mohirev, M. M. Gerasimova, K. P. Rukomojniov, T. V. Sergeeva // Lesnoj vestnik. Forestry Bulletin. 2022. T. 26, № 1. S. 114-125. DOI 10.18698/2542-1468-2022-1-114-125.
3. Rukomojniov K. P., Mohirev A. P. Obosnovanie tekhnologicheskoy skhemy lesozagotovitel'nyh rabot putem sozdaniya dinamicheskoy modeli funkcionirovaniya predpriyatiya // IVUZ Lesnoj zhurnal, 2019. № 4 (370). S. 94-107. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2019.4.94
4. Rukomojniov K. P., Mohirev A. P. Obosnovanie tekhnologicheskoy skhemy lesozagotovitel'nyh rabot putem sozdaniya dinamicheskoy modeli funkcionirovaniya predpriyatiya // Izvestiya vysshih uchebnyh zavedenij. Lesnoj zhurnal. 2019. № 4(370). S. 94-107. DOI 10.17238/issn0536-1036.2019.4.94.

5. Zaikin A. N., Merkelov V. M., Sivakov V. V. K voprosu operativnogo planirovaniya i upravleniya lesosechnymi rabotami // *Ekonomika i effektivnost' organizacii proizvodstva*. 2020. № 32. S. 120-122.
6. Zaikin A. N. Tipy i naznachenie zapasov drevesiny v proizvodstvennom processe lesozagotovok // *Lesn. zhurn.* 2013. № 3. S. 71-78. (Izv. vyssh. ucheb. zavedenij).
7. Zaikin A. N., Ryzhikova E. G., Teremkova I. I. Metod operativnogo planirovaniya i upravleniya lesosechnymi rabotami // *Lesn. zhurn.* 2017 № 2 S. 107-118 (Izv. vyssh. ucheb. zavedenij). DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.2.107
8. Mohirev A. P., Goryaeva E. V., Medvedev S. O. Ocenka tekhnologicheskikh processov lesozagotovitel'nykh predpriyatij // *Lesotekhnicheskij zhurnal*. 2016. T. 6, № 4(24). S. 139-147. DOI 10.12737/23448.
9. Design of logging infrastructure in consideration of the dynamically changing environment / A. Mokhirev, K. Rukomojnikov, M. Gerasimova, S. Medvedev // *Journal of the Korean Wood Science and Technology*. 2021. Vol. 49, No. 3. P. 254-266. DOI 10.5658/WOOD.2021.49.3.254.
10. Imitacionnoe modelirovanie tekhnologicheskogo processa zagotovki drevesiny na primere lesnogo harvestera / K. P. Rukomojnikov, T. V. Sergeeva, T. A. Gilyazova [i dr.] // *Lesnoj vestnik. Forestry Bulletin*. 2023. T. 27, № 3. S. 69-80. DOI 10.18698/2542-1468-2023-3-69-80.
11. Avtomatizaciya vedeniya uchebno-metodicheskoy dokumentacii obrazovatel'noj organizacii / V. V. Sivakov, A. A. Solomnikov, I. Yu. Adamovich, S. P. Strov // *Vysshee obrazovanie v Rossii*. 2021. T. 30, № 8-9. S. 34-43. DOI 10.31992/0869-3617-2021-30-8-9-34-43.
12. Meissner H., Iلسena 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. Sivakov V. V. Vnedrenie informacionnykh tekhnologij pri organizacii passazhirskih marshrutnykh perevozok v g. Bryanske / V. V. Sivakov, K. S. Borovaya // *Transportnoe delo Rossii*. 2019. № 4. S.98-99.
16. The use of information technology in the design of chippers for the production of technological chips / V. Sivakov, S. Gryadunov, A. Buglaev [et al.] // *E3s web of conferences: VIII International Conference on Advanced Agritechnologies, Environmental Engineering and Sustainable Development (AGRITECH-VIII 2023)*, Krasnoyarsk, March 29–31, 2023. Vol. 390. EDP Sciences: EDP Sciences, 2023. P. 03027. DOI 10.1051/e3sconf/202339003027.
17. Belov V. F. Arhitektura cifrovoj platformy issledovaniya i proektirovaniya innovacij v mashino- i priborostroenii / V. F. Belov, S. S. Gavryushin, A. I. Zankin // *Izvestiya vysshih uchebnykh zavedenij. Mashinostroenie*. 2021. № 3(732). S.3-15. DOI 10.18698/0536-1044-2021-3-3-15.
18. Bovtееv S. V. Razrabotka metoda sozdaniya semejstv stroitel'nykh mashin i oborudovaniya dlya 3D i 4D modelirovaniya / S. V. Bovtееv, N. I. Veselova // *Sistemnye tekhnologii*. 2022. №3(44). S. 14-23. DOI: 10.55287/22275398\_2022\_3\_14.
19. Hawkes P., Kasper, E. (1996). The Finite-Element Method (FEM). 10.1016/B978-012333340-7/50191-5.
20. Shantyko A. S. OAO "Gomsel'mash": na puti k cifrovizacii proizvodstva / A. S. Shantyko, V. I. Kozlov, S. V. Karaban'kova // *Cifrovaya transformaciya*. 2018. № 4. S. 16-26.
21. Erpalov A., Khoroshevskii K., Gadolina I. (2023). Actual problems of creating digital twins of machine engineering products in terms of durability assessment. *Industrial laboratory. Diagnostics of materials*. 89. 67-75. DOI: 10.26896/1028-6861-2023-89-8-67-75.
22. Sivakov V., Buglaev A., Zaikin A., Orekhovskaya A., Nurullin A., Razetdinov I. Improving the training of employees of logging enterprises in the field of labor protection. *E3S Web Conf.* 486 04007 (2024). DOI: 10.1051/e3sconf/202448604007.

23. Gavrilović N., Mishra A. (2021). Software architecture of the internet of things (IoT) for smart city, healthcare and agriculture: analysis and improvement directions. *J Ambient Intell Human Comput* 12, 1315–1336. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12652-020-02197-3>.
24. Parshina I. S., Frolov E. B. Development of a digital twin of the production system on the basis of modern digital technologies. *Ekonomika v promyshlennosti = Russian Journal of Industrial Economics*, 2020. Vol. 13. No. 1. Pp. 29–34. (In Russ.). DOI: 10.17073/2072-1633-2020-1-29-34.
25. Ashtari B., Jung T., Lindemann B., Sahlab N., Jazdi, N., Schloegl, W., Weyrich M. (2019). An architecture of an Intelligent Digital Twin in a Cyber-Physical Production System. *Automatisierungstechnik*. 67. 762-72. DOI: 10.1515/auto-2019-0039.8.
26. Shvedenko V., Mozokhin A. (2020). Concept of digital twins at life cycle stages of production systems. *Scientific and Technical Journal of Information Technologies, Mechanics and Optics*. 20. 815-827. 10.17586/2226-1494-2020-20-6-815-827.
27. Linhares M., Sette Jr. C.R., Campos F., Yamaji F. (2012). Harvester and Forwarder machines efficiency and operational performance in forest harvesting. *Pesquisa Agropecuária Tropical*. 42. 212-219. DOI:10.1590/S1983-40632012000200007.
28. Danilović M., Antonić S., Stojnić D., Cirovic V., Milikić D. (2022). Productivity of Komatsu 951G harvester in tree felling and production wood assortments in forest area damaged by wind. *Topola*. 5-11. DOI:10.5937/topola2209005D.
29. Primenenie kompleksov lesozagotovitel'nyh mashin v usloviyah Respubliki Bashkortostan / A. N. Zaikin, V. V. Sivakov, N. A. Bulhov [i dr.] // *Izvestiya vysshih uchebnyh zavedenij. Lesnoj zhurnal*. 2022. № 3(387). S. 139-152. DOI 10.37482/0536-1036-2022-3-139-152.
30. Labelle E. R., Kemmerer J. (2022). Business Process Reengineering of a Large-Scale Public Forest Enterprise Through Harvester Data Integration. *Croatian journal of forest engineering*. 43. DOI: 10.5552/crojfe.2022.1129.
31. Söderberg J., Wallerman J., Almäng A., Möller J., Willén E. (2021). Operational prediction of forest attributes using standardised harvester data and airborne laser scanning data in Sweden. *Scandinavian Journal of Forest Research*. 36. 1-9. DOI: 10.1080/02827581.2021.1919751.
32. Bezuglov A. E., Kislicyna O. A. Klyuchevye 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.
33. Pomogaev V. M., Redreev G. V. Information support in the system of maintenance and repair of mobile machines in agriculture. *Vestnik of Omsk SAU*. 2022; 2(46): 145-152, DOI 10.48136/2222-0364\_2022\_2\_145.
34. Kostygov A. M., Eltyshv D. K. Automated information support for planning process of power equipment technical maintenance and repair based on actual condition. *Information-measuring and Control Systems*. 2019; 17(4): 46-53. URL: <https://elibrary.ru/ouggxk>.
35. 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. C.35-40.
36. Tugengol'd A. K., Voloshin R. N., Yusupov A. R., Kruglova T. N. Tekhnicheskoe obsluzhivanie tekhnologicheskikh mashin na baze cifrovizacii // *Vestnik Donskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*. 2019. T.19. №1. S.74-80. DOI: 10.23947/1992-5980-2019-19-1-74-80.
37. Zav'yalov A. P. Diagnosticheskoe obsluzhivanie oborudovaniya i truboprovodov neftegazovyh proizvodstv pri risk-orientirovannom podhode k ekspluatatsii // *Oborudovanie i tekhnologii dlya neftegazovogo kompleksa*. 2020. № 3(117). S.79-81. DOI: 10.33285/1999-6934-2020-3(117)-79-81.
38. Gurskij A. S. Ispol'zovanie transportnoj telematiki i distancionnoj diagnostiki dlya sovershenstvovaniya tekhnicheskogo obsluzhivaniya i remonta transportnyh sredstv / A. S. Gurskij, V. S. Ivashko // *Izvestiya Nacional'noj*

akademii nauk Belarusi. Seriya fiziko-tehnicheskikh nauk. 2020. T.65. №3. S.375-383. DOI 10.29235/1561-8358-2020-65-3-375-383.

39. Kim G-H., Kim, K.-D., Lee H.-S., Choi Y, Mun H.-S., Oh J.-H., Shin B.-S. (2021). Development of Wi-Fi-Based Teleoperation System for Forest Harvester. *Journal of Biosystems Engineering*. 46. DOI: 10.1007/s42853-021-00100-2.

40. Zaikin A. N., Teremkova I. I., Afonichev D. N. Metodika avtomatizirovannogo operativnogo planirovaniya lesosechnyh rabot. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2017. № 3 (54). S.102-109.

41. Golubev I. G., Mishurov N. P., Gol'tyapin V. Ya., Apatenko A. S., Sevryugina N. S. Sistemy telemekhnik i monitoringa sel'skohozyajstvennoj tekhniki: analit. obzor. M.: FGBNU «Rosinformagrotekh», 2020. 76 s.

42. Keefe R., Zimbelman E., Picchi G. (2022). Use of Individual Tree and Product Level Data to Improve Operational Forestry. *Current Forestry Reports*. 8. 3. 10.1007/s40725-022-00160-3.

43. Picchi G., Sandak J., Grigolato S., Panzacchi P., Tognetti R. (2022). Smart Harvest Operations and Timber Processing for Improved Forest Management. 10.1007/978-3-030-80767-2\_9.

44. Torresan C., Benito-Garzon M., O'Grady M., Robson T. et al. (2021). A new generation of sensors and monitoring tools to support climate-smart forestry practices. *Canadian Journal of Forest Research*. 51. 10.1139/cjfr-2020-0295.

45. Kaulen A., Stopfer L., Lippert K., Purfürst T. (2023). Systematics of Forestry Technology for Tracing the Timber Supply Chain. *Forests*. 14. 10.3390/f14091718.

46. Pichler G., Sandak J., Picchi G., Kastner M. et al. (2022). Timber Tracking in a Mountain Forest Supply Chain: A Case Study to Analyze Functionality, Bottlenecks, Risks, and Costs. *Forests*. 13. 1373. 10.3390/f13091373.

47. Keefe R., Wempe A., Becker R., Zimbelman E., Nagler E., Gilbert S., Caudill C. (2019). Positioning Methods and the Use of Location and Activity Data in Forests. *Forests*. 10. 458. 10.3390/f10050458.

48. Zimbelman E., Keefe R. (2022). Lost in the woods: Forest vegetation, and not topography, most affects the connectivity of mesh radio networks for public safety. *PLOS ONE*. 17. e0278645. 10.1371/journal.pone.0278645.

49. Kim G-H., Kim, K.-D., Lee H.-S., Choi Y, Mun H.-S., Oh J.-H., Shin B.-S. (2021). Development of Wi-Fi-Based Teleoperation System for Forest Harvester. *Journal of Biosystems Engineering*. 46. DOI: 10.1007/s42853-021-00100-2.

50. Lopatin E., Väättäinen K., Kukko A. et al. (2023). Unlocking Digitalization in Forest Operations with Viewshed Analysis to Improve GNSS Positioning Accuracy. *Forests*. 14. 689. 10.3390/f14040689.

51. Programmnoe obespechenie dlya upravleniya sistemoy tekhnicheskogo obsluzhivaniya i remonta lesnyh mashin: ozenka primenimosti / A. N. Zaikin, V. V. Sivakov, T. P. Novikova [i dr.] // *Lesotekhnicheskij zhurnal*. 2023. T.13, № 2(50). S.105-127. DOI 10.34220/issn.2222-7962/2023.2/6.

52. Programmnoe obespechenie dlya upravleniya lesohozyajstvennym i lesozagotovitel'nym processami: ozenka 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.

53. Safiullin R. N., Pyrkin O. P., Sorokin K. V. An adaptively managed approach to optimizing the supply of spare parts to vehicles based on functional diagnostics using a matrix QR code. *Tekhniko-tehnologicheskie problemy servisa [Technical and technological problems of service]*. 2023; 2(64): 17-22. URL: <https://elibrary.ru/gblmxf>.

54. Kemmerer J., Labelle E. R. (2021). Using harvester data from on-board computers: a review of key findings, opportunities and challenges. *European Journal of Forest Research*. 140. DOI: 10.1007/s10342-020-01313-4.

55. Zaprudnov V. I., Karpachev S. P., Bykovskij M. A. Potrebnost' parka lesosechnyh mashin v tekhnicheskome obsluzhivanii // *Lesnoj vestnik. Forestry Bulletin*. 2017. V. 21. № 2. S.76-79. DOI: 10.18698/2542-1468-2017-2-76-79.

56. Kataev Yu. V., Gradov E. A., Tishaninov I. A. Kontrol' tekhnicheskogo sostoyaniya sel'skohozyajstvennoj tekhniki cherez onlajn-monitoring parametrov. *Sel'skohozyajstvennaya tekhnika: obsluzhivanie i remont*. 2022; 1. DOI: 10.33920/sel-10-2201-.

57. Erokhin M. N., Dorokhov A. S., Kataev Yu. V. Intelligent system for diagnosing the parameters of the technical condition of tractors. *Agricultural Engineering (Moscow)*. 2021;(2):45-50. (In Russ.) <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2021-2-45-50>
58. Information support of the dynamics of system connectivity of wheel harvester operations / F. Svoikin, V. Svoikin, S. Bazarov [et al.] // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* : 2, Saint Petersburg, Virtual, 18–19 марта 2021 года. – Saint Petersburg, Virtual, 2021. – P. 012031. DOI 10.1088/1755-1315/806/1/012031.
59. Информационное обеспечение динамики системной связности операций валочно-сучкорезно-раскряжевой машины / F. V. Svoikin, V. F. Svoikin, S. M. Bazarov, S. A. Ugryumov // *Remont. Vosstanovlenie. Modernizaciya*. 2022. № 2. S. 37-41. DOI 10.31044/1684-2561-2022-0-2-37-41.
60. Razmerno-kachestvennye harakteristiki kruglyh sortimentov, zagotavlivaemyh s primeneniem mno-goopерационnyh lesnyh mashin / K. D. Zhuk, S. A. Ugryumov, F. V. Svoikin, V. F. Svoikin // *Izvestiya vysshih uchebnyh zavedenij. Lesnoj zhurnal*. 2022. № 5(389). S. 114-130. DOI 10.37482/0536-1036-2022-5-114-130.
61. Zhuk K. D. Raspoznavanie porod derev'ev v processe lesozagotovki s primeneniem metodov mashinno-go obucheniya / K. D. Zhuk, S. A. Ugryumov, F. V. Svoikin // *Izvestiya Sankt-Peterburgskoj lesotekhnicheskoy aka-demii*. 2023. № 242. S.167-178. DOI 10.21266/2079-4304.2023.242.167-178.
62. Svidetel'stvo o gosudarstvennoj registracii programmy dlya EVM № 2023681124 Rossijskaya Fe-deraciya. Programma opredeleniya porody stvola zagotavlivaemogo dereva dlya valочно-сучкорезно-раскряжевой машины stmPredict : № 2023669997 : zayavl. 29.09.2023 : opubl. 10.10.2023 / K. D. Zhuk, S. A. Ugryumov, F. V. Svoikin; zayavitel' Federal'noe gosudarstvennoe byudzhethoe obrazovatel'noe uchrezhdenie vysshego obrazovaniya «Sankt-Peterburgskij gosudarstvennyj lesotekhnicheskij universitet imeni S.M. Ki-rova».
63. Povyshenie effektivnosti raboty mashin i oborudovaniya pri zagotovke drevesiny v lesah s radioaktivnym zagryazneniem / A. N. Zaikin, A. S. Toropov, V. M. Merkelov, V. V. Sivakov // *Izvestiya vysshih uchebnyh zavedenij. Lesnoj zhurnal*. 2020. № 1(373). S. 113-127. DOI 10.37482/0536-1036-2020-1-113-127.
64. Cifrovizaciya sistemy organizacii rabochih processov lesozagotovitel'nyh mashin: ocenka effektivnosti na primere «Ponsse», «Komatsu» i «John Deere» / V. V. Sivakov, A. N. Zaikin, T. P. Novikova [i dr.] // *Lesotekhnicheskij zhurnal*. 2023. T. 13, № 3(51). S. 200-218. DOI 10.34220/issn.2222-7962/2023.3/14.
65. Rukomoynikov K. P., Sergeeva T. V., Gilyazova T. A., Tsarev E. M., Anisimov P. N. (2023). Modeling operation of forest harvester in AnyLogic simulation system. *Forestry Bulletin*. 27. 69-80. 10.18698/2542-1468-2023-3-69-80.
66. 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>.
67. Mathematical model of the distribution of labor resources in the technical operation and repair of motor vehicles / S. V. Dorokhin [et al.] // *Forestry Engineering Journal*. – 2014. – Vol. 4, no. 4(16). - pp. 309-317. URL: <https://elibrary.ru/vxxdjz>.
68. 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). – P. 5-10. – URL: <https://www.elibrary.ru/ntnxin>.
69. 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>.
70. 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>.

71. 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>.
72. 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>.
73. 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. – Iss. 1. – P. 272-274. URL: <https://elibrary.ru/slkaqt>.
74. Patent No. 2714705 Russian Federation. Method of forest restoration / A. I. Novikov. – URL: <https://www.elibrary.ru/gzdlvj>.
75. 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.]. – URL: <https://www.elibrary.ru/nrywgh>.
76. 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. – URL: <https://www.elibrary.ru/qdcyfv>.
77. 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>.
78. 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. – URL: <https://www.elibrary.ru/sjqbtb>.
79. 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>.
80. 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. – URL: <https://www.elibrary.ru/rewhat>.
81. Cloud technologies – formation and prospects of development / V. V. Lyadov [et al.] // *Modeling of systems and processes*. – 2013. – No. 1. – pp. 37-39. – URL: <https://www.elibrary.ru/rbpjfr>.
82. Hydromechanical transmissions of forest transport vehicles: technological connection with the impact on the soil and plant environment / P. A. Sokol [et al.] // *Forestry Engineering Journal*. – 2023. – V. 13, № 2(50). – P. 179-197. – DOI 10.34220/issn.2222-7962/2023.2/10. – URL: <https://www.elibrary.ru/PJGN0X>.
83. Application of clustering algorithms for the analysis of the customer base of the store / S. A. Evdokimova [et al.] // *Modeling of systems and processes*. – 2021. – V. 14, № 2. – P. 4-12. – DOI 10.12737/2219-0767-2021-14-2-4-12. – URL: <https://www.elibrary.ru/DXGWQN>.
84. 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. – T. 15, № 4. – С. 24-33. – DOI 10.12737/2219-0767-2022-15-4-24-33. – URL: <https://www.elibrary.ru/jcnghb>.

### 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, 241037, Российская Федерация, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-1831-6893>, e-mail: [zaikin.anatolij@yandex.ru](mailto: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, 241037, Российская Федерация, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-0175-9030>, e-mail: [sv@bgitu.ru](mailto:sv@bgitu.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, 394087, Российская Федерация, ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-2317-9413>, e-mail: [zelikov-vrn@mail.ru](mailto:zelikov-vrn@mail.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, 220006, Республика Беларусь, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-6923-7212>, e-mail: [offlex88@belstu.by](mailto:offlex88@belstu.by).

*Новиков Артур Игоревич* – доктор технических наук, доцент, профессор кафедры древесиноведения, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова», ул. Тимирязева, 8, г. Воронеж, 394087, Российская Федерация, ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-1230-0433>, e-mail: [arthur.novikov@vglta.vrn.ru](mailto:arthur.novikov@vglta.vrn.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](mailto:stasiuk.volodya@yandex.ru).

### 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](mailto: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](mailto:sv@bgitu.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, 394087, Russian Federation, ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-2317-9413>, e-mail: [zelikov-vrn@mail.ru](mailto:zelikov-vrn@mail.ru).

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

*Arthur I. Novikov* – Dr. Sci. (Tech.), professor, Chair of Wood Science, Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, 8, Timiryazev str., Voronezh, 394087, Russian Federation, ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-1230-0433>, e-mail: [arthur.novikov@vglta.vrn.ru](mailto:arthur.novikov@vglta.vrn.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, 394087, Russian Federation, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-8689-955X>, e-mail: [stasiuk.volodya@yandex.ru](mailto:stasiuk.volodya@yandex.ru).

✉ – Для контактов | Corresponding author