

Научный обзор

DOI: <https://doi.org/10.34220/issn.2222-7962/2024.1/6>

УДК 630 : 676.051.32



Анализ конструктивных особенностей привода рубильных машин для измельчения энергетического древесного сырья

Сергей В. Фокин¹✉, feht@mail.ru  <https://orcid.org/0000-0002-9575-7764>

Полина Ю. Медведева¹, pelageam@mail.ru  <https://orcid.org/0009-0003-9708-4182>

Виктор П. Попиков², kafedra.laip@inbox.ru  <https://orcid.org/0000-0003-2499-2772>

¹ФГБОУ ВО «Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии имени Н.И. Вавилова», пр-т им. Петра Столыпина зд. 4, стр. 3, г. Саратов, 410012, Российская Федерация

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

Одним из основных направлений развития лесной и деревообрабатывающей промышленности в данном контексте является использование метода переработки отходов и низкокачественной древесины на технологическую щепу. Этот метод позволяет оптимизировать использование ресурсов деловой древесины, сохраняет площади лесных массивов, снижает затраты на лесовосстановление и заготовку древесины, а также увеличивает долю выхода древесины с лесных территорий на 20-25 %. «Зеленая энергетика», несомненно, имеет свои затраты, но привлекательна по ряду других факторов, например, как средство осознанного подхода государства к своим природным ресурсам и экологической ситуации. Энергетика на основе растительной и древесной биомассы продолжает набирать популярность во многих странах мира, становясь самокупаемой и конкурентоспособной альтернативой ископаемому топливу. Плантационное лесовыращивание может стать прорывным направлением в обеспечении энергобезопасности страны на основе возобновляемых источников энергии. Для создания энергетических лесов применяются быстрорастущие растения, такие как тополь, ива и осина. В процессе переработки продукции плантационных лесов в щепу используется широкий спектр рубильных машин, которые играют важную роль в получении конечной продукции. Они различаются по типу механизма резания, мобильности, а также по типу привода. При этом приводные устройства являются основным элементом в конструкции данного оборудования и оказывают значительное влияние на выбор силовой установки и параметры технологического процесса измельчения сырья. Однако вопрос классификации рубильных машин по типу привода получил недостаточное развитие в научной литературе. Поэтому в работе авторами проведен анализ видов приводов рубильного оборудования для древесного сырья, который может стать основой для создания концепции конструктивной схемы нового рубильного оборудования, отличающегося высокой надежностью эксплуатации и безопасностью производства работ при измельчении продукции энергетических лесов в топливную щепу.

Ключевые слова: лесные плантации, рубильная машина, привод, щепа

Финансирование: данное исследование не получало внешнего финансирования.

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

Конфликт интересов: авторы данной статьи заявляют об отсутствии личных, коммерческих, идеологических, интеллектуальных конфликтов интересов при подготовке, написании и публикации данной статьи.

Для цитирования: Фокин, С. В. Анализ конструктивных особенностей привода рубильных машин для измельчения энергетического древесного сырья / С. В. Фокин, П. Ю. Медведева, В. П. Попиков // Лесотехнический журнал. – 2024. – Т. 14. – № 1 (53). – С. 95–115. – Библиогр.: с. 108–115 (45 назв.). – DOI: <https://doi.org/10.34220/issn.2222-7962/2024.1/6>.

Поступила 18.01.2024. *Пересмотрена* 02.02.2024. *Принята* 13.02.2024. *Опубликована онлайн* 20.03.2024.

Review

Analysis of design features of chipper drive for chopping energy wood raw materials

Sergei V. Fokin¹✉, feht@mail.ru  <https://orcid.org/0000-0002-9575-7764>.

Polina Y. Medvedeva¹, pelageam@mail.ru  <https://orcid.org/0009-0003-9708-4182>

Victor P. Popikov², kafedra.laip@inbox.ru  <https://orcid.org/0000-0003-2499-2772>

¹*Saratov State University of Genetics, Biotechnology and Engineering named after N.I. Vavilov, Petr Stolypin Ave., zd. 4, pp. 3, Saratov, 410012, Russian Federation*

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

One of the main directions of development of the forest and woodworking industry in this context is the use of the method of processing waste and low-quality wood into technological chips. This method allows to optimize the use of business wood resources, preserves forest areas, reduces the cost of reforestation and timber harvesting, and increases the share of timber yield from forest areas by 20-25%. "Green energy" undoubtedly has its costs, but is attractive for a number of other factors, for example, as a means for the state to take a conscious approach to its natural resources and environmental situation. Plant and woody biomass-based energy continues to gain popularity in many countries around the world, becoming a self-sustaining and competitive alternative to fossil fuels. Plantation forestry can become a breakthrough direction in ensuring the country's energy security on the basis of renewable energy sources. Fast growing plants such as poplar, willow and aspen are used to create energy forests. In the process of processing plantation forest products into wood chips, a wide range of chippers are used, which play an important role in the final product. They differ in terms of the type of cutting mechanism, mobility as well as the type of drive. At the same time, drive devices are the main element in the design of this equipment and have a significant impact on the choice of power plant and the parameters of the technological process of chopping raw materials. However, the issue of classification of chopping machines by type of drive has received insufficient development in the scientific literature. Therefore, in this paper the authors analyzed the types of drives of chopping equipment for wood raw materials, which can be the basis for creating the concept of a constructive scheme of new chopping equipment, characterized by high reliability of operation and safety of work production when chopping the products of energy forests into fuel chips.

Keywords: *forest plantations, chopping equipment, wood chips.*

Funding: this study did not receive external funding.

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

Conflict of interest: the authors of this article declared the absence of personal, commercial, ideological, intellectual conflicts of interest in the preparation, writing and publication of this article.

For citation: Fokin S.V., Medvedeva P.Y., Popikov V.P. (2024). Analysis of design features of chipper drive for chopping energy wood raw materials. *Lesotekhnicheskii zhurnal* [Forestry Engineering journal], Vol. 14, No. 1 (53), pp. 95-115 (in Russian). DOI: <https://doi.org/10.34220/issn.2222-7962/2024.1/6>.

Received 18.01.2024.

Revised 02.02.2024.

Accepted 13.02.2024.

Published online 20.03.2024.

Введение

Плантационное лесовыращивание является одним из самых перспективных направлений, способных решить широкий комплекс задач по социально-экономическому развитию лесных территорий и повышению экологичности экономики страны, включая ее топливно-энергетический комплекс [1, 2].

В таких странах, как Швеция, Канада, Австрия и США, существуют специально выращенные леса, известные как энергетические плантации, биомасса с которых используется для производства тепловой и электрической энергии, что подчеркивает актуальность разработки данного направления [3,4].

Хорошо продуманная организация переработки древесных отходов, которые образуются при выращивании деревьев на плантациях и при переработке древесного сырья для получения конечной продукции, является важным фактором успешности создания энергетических плантаций и планирования их территории [5, 6].

Для эффективной переработки тонкомерного древесного сырья рекомендуется использование мобильных рубильных машин для механической переработки древесного сырья. Одним из основных этапов этого процесса является измельчение древесины до мелких частиц, обеспечивающих однородный размер [7, 8].

Такая операция необходима для облегчения транспортировки и последующего использования, полученной щепы [9, 10]. Среди всех технических средств, задействованных в процессе производства топливной щепы, рубильная машина выделяется своей высокой энергоемкостью, сложностью и значительной стоимостью [11, 12].

Представим классификацию существующих рубильных машин на сегодняшний день. Это классификация основана на различных характеристиках и позволяет более точно определить их варианты. Она выглядит следующим образом.

В первую очередь, классификация основана на типе механизма резания. Рубильные машины могут быть дисковыми, где рабочий орган представляет собой плоский или профильный диск с ножами на нем. Альтернативой являются барабанные модели, где рабочий орган выполнен в виде барабана с ножами, цилиндрическим, конусным или в виде двух конусов, расположенных на одной оси и соединенных вершинами.

Далее рубильные машины классифицируются по способности перемещаться. Они могут быть стационарными или передвижными. Последние могут быть прицепными, полуприцепными или смонтированными на базовой раме трактора.

Третий критерий классификации – способ загрузки древесины. Рубильные машины могут иметь горизонтально расположенный питающий патрон, куда древесину подают цепным, ленточным транспортером, рольгангом или шнеками.

Также они могут иметь наклоненный в вертикальной плоскости питающий патрон, где древесина перемещается за счет гравитационных сил. Существуют рубильные машины с комбинированной загрузкой, оснащенные двумя патронами.

И, наконец, последний критерий классификации – вид эвакуации конечного продукта из машины. Она может происходить путем транспортировки вверх по щепопроводу с помощью воздушного потока, эвакуации вниз на транспортер или же по направлению подачи сырья в машину, что позволяет достичь "безударной" транспортировки щепы.

Таким образом, данная классификация позволяет систематизировать разнообразные варианты рубильных машин и более точно определить их характеристики и особенности.

Хочется отметить, что из всех классификационных признаков приводу отводится наименьшее внимание, а ведь именно привод представляет собой

комплекс устройств, предназначенных для активации работы машин и механизмов, включая их составные части.

Он выполняет функцию преобразования одного типа энергии в другой и передачи этой энергии исполнительному механизму. Привод можно рассматривать как "промежуточное звено" между приводным двигателем и рабочим механизмом, будто машина или движитель [15, 16, 17].

В зависимости от вида приводного устройства рубильные машины бывают с приводом от: автономного ДВС, вала отбора мощности (ВОМ) и электродвигателя.

Приводные механизмы, в составе рубильных машин, определяют высокую степень переработки древесины, повышенную производительность выполняемых работ при наименьшей энергоемкости во время осуществления технологических операций [18, 19, 20].

Цель настоящих исследований – проанализировать применяющиеся на практике приводы рубильных машин и создать конструктивную схему рубильной машины, исходя из ранее перечисленных требований.

Материалы и методы

Объект и предмет исследований. Данная работа является аналитическим обзором в области механизации работ при переработке в щепу продукции плантационного лесовыращивания. Объект исследования: мобильные рубильные машины для измельчения древесного сырья. Предмет исследования: приводные устройства конструктивных узлов рубильных машин. Поиск и накопление материалов произведен согласно концепции обзора предметного поля [21, 22].

Сбор данных

При поиске соответствующих материалов были изучены научные работы как отечественных, так и иностранных ученых. Литературный поиск осуществлялся с использованием различных баз данных, включая электронные ресурсы, такие как eLIBRARY, КиберЛенинка, Академия Google, Scopus и Web of Science.

Основные запросы включали в себя темы "дисковые рубильные машины", "измельчение порубочных остатков", "disc chippers" и "wood chips".

Кроме того, были использованы учебные и научные материалы из фондов Саратовской областной научной библиотеки и научной библиотеки Вавиловского университета за период с 1980 по 2022 годы.

Патентный поиск проводился с использованием баз данных ФИПС, Яндекс. Патенты и Lens.org. При этом использовались следующие ключевые слова: "дисковые рубильные машины", "измельчение древесного сырья", "discchippers" и "woodchips".

Анализ данных

После проведения патентного и систематического поиска были выбраны наиболее релевантные конструкции рубильных машин. Был проведен статистический анализ их сходства и различий в режимах работы [45].

Оценка степени сходства и различия проводилась с применением кластерного анализа по методу k-средних, основанного на минимизации накопленной суммы квадратов расстояний от центра, с использованием программного пакета StatSoft Statistica v7.0 Rus.

Также в работе использовались общелогические методы исследования в части анализа видов приводов конструктивных узлов различного рубильного оборудования для древесного сырья, который позволил установить, что в настоящее время выпускаются рубильные машины со следующими типами приводов [23, 24]: от ВОМ или гидравлической системы трактора, от электродвигателя и от собственного двигателя (бензинового или дизельного).

Навесные и прицепные устройства получают вращение от ВОМ при помощи карданных валов, в то время как стационарные орудия используют ременные передачи.

Если речь идет о стационарных орудиях, шкив устанавливается на задний ВОМ трактора. В большинстве случаев лесозаготовительных машин, окружная скорость вращения ВОМ не зависит от скорости движения агрегата [25, 26].

Однако, некоторые орудия требуют изменения скорости вращения вала в соответствии с изменением скорости движения трактора. В конструкции ВОМ тракторов это требование учитывается. Зад-

ний и боковой ВОМ могут быть включены как независимо от других приводов, так и синхронно с ними. [27, 28].

Гидропривод является основным звеном для энергетического питания навесных устройств сельскохозяйственных тракторов и технологического оборудования промышленных тракторов.

По сравнению с механическим и пневматическим приводами, гидропривод предполагает большую универсальность, меньшую степень зависимости от металлоемкости и высокую надежность. Данная система включает в себя насос, гидравлический мотор, распределитель, масляный бак, маслопроводы и клапаны [29, 30].

Электрический привод – это электромеханическая система, включающая электродвигатель, преобразователь и управляющее устройство. Он предназначен для приведения в движение рабочих органов машин и управления. Для осуществления таких функций данный вид привода использует электрическую энергию.

Механическая энергия, генерируемая электроприводом, передается рабочим органам различных машин и механизмов при помощи различных промежуточных звеньев (валы, муфты и т.д.) [31, 32]. При необходимости подача энергии регулируется в соответствии с требованиями технологических режимов работы рабочего органа. [33, 34].

Двигатели внутреннего сгорания (ДВС), включая карбюраторные и дизельные, являются ключевыми источниками энергии для привода рубильных машин с автономным приводом. В силу своей лучшей экономичности, дизельные двигатели применяются для привода рубильных машин чаще, чем карбюраторные [37, 38, 39].

Они обладают КПД в диапазоне от 25 % до 37 %, в то время как у карбюраторных двигателей этот показатель не превышает 18-25 %. Кроме того, дизельные двигатели потребляют топливо на 40-50 % меньше, чем карбюраторные двигатели [35, 36].

Важно отметить, что двигатели внутреннего сгорания подвергаются определенным ограничениям по нагрузке, поэтому при выборе двигателя учитывают максимальную нагрузку. Для облегчения запуска двигателя под нагрузкой, возможности

прекратить работу механизмов машины без выключения двигателя, для снижения динамических нагрузок в системе его защиты от перегрузки, между двигателем и трансмиссией устанавливаются фрикционные или гидравлические муфты. [40, 41, 42, 43].

Результаты

Исследование, проведенное путем сравнительного анализа параметров и режимов работы рубильных машин, представлено в табл. 1 и 2, а также на рис. 1–4.

Таблица 1

Сравнительный анализ режимов работы рубильных машин

Table 1

Comparative analysis of chipper operating modes

Машина Machine	Уст. мощность, кВт Ins. power, kW	Производительность (по щепе), м ³ /ч Productivity (forchips), m ³ / h	Скорость диска, мин ⁻¹ Disk rotation, min ⁻¹
МДР-0,8/ MDR-0.8	22	10	540
ВРМ-600/ VRM-600	18,5	5	2000
ИВН-1Г/ IVN-1G	29,4	20	1000
С52ИВН/ C52IVN	30	20	1000
SRUB-350M	7,5	3	1500
PPM-3/ RRM-3	5	3	1500
Каваста BX62m / Kavasta BX62m	18,5	5	1500
Laski LS 100/27 C	18,6	6	3000

Источник: открытые данные производителей оборудования

Source: open data from equipment manufacturers

Данные сравнительного анализа режимов работы рубильных машин, представленные в табл. 1, разделены на 4 кластера (рис. 1).

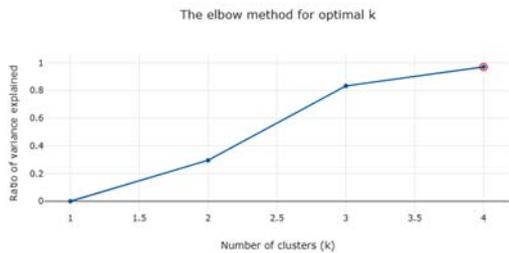


Рисунок 1. Зависимость для выбора количества кластеров при сравнительном анализе режимов работы рубильных машин

Figure 1. Dependence for selecting the number of clusters in the comparative analysis of chopping machine operation modes

Источник: Собственные вычисления авторов
Source: Authors' own calculations

Для определения количества числа кластеров выбирался наименьший k , который объясняет не менее 90 % дисперсии (97,0487 %). Максимальное количество итераций в кластерах составило 4 (рис. 2).

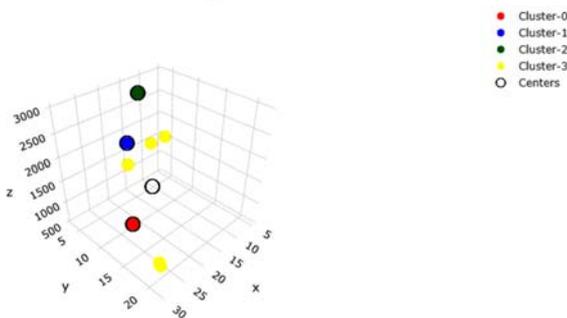


Рисунок 2. Идентификация кластеров при сравнительном анализе параметров конструкций рубильных машин

Figure 2. Identification of clusters in comparative analysis of chipper design parameters

Источник: Собственные вычисления авторов
Source: Authors' own calculations

Анализируя диаграмму (рис. 2), можно сказать, что она разделена на четыре кластера. В первый кластер входит 1 рубильная машина (МДР-0,8), во второй кластер – тоже одна машина (ВРМ-600),

в третий – одна машина (Laski LS 100/27 C), в четвертый – 5 машин (ИВН-1Г, С52ИВН, SRUB-350М, PPM-3, KavastaBX62m).

В первый кластер вошла машина, которая имеет среднее значение установленной мощности (22 кВт), среднее значение производительности ($10 \text{ м}^3 / \text{ч}$) и низкую скорость вращения диска (540 мин^{-1}). Во второй кластер включена машина, которая имеет среднее значение установленной мощности (18,5 кВт), низкое значение производительности ($5 \text{ м}^3 / \text{ч}$) и высокую скорость вращения диска (2000 мин^{-1}).

Таблица 2

Сравнительный анализ параметров измельчения сырья рубильными машинами

Table 2

Comparative analysis of parameters of raw material grinding by chopping machines

Машина Machine	Количество ножей, шт. Number of knives, pcs	Диаметр из- мельчае- мого дре- весного сы- рья, мм Diameter of chopped wood raw material, mm	Получаемый раз- мер щепы, мм Obtained chip size, mm
МДР- 0,8/ MDR-0.8	4	не более 200	3-15
ВРМ-600/ VRM-600	3	не более 170	10-40
ИВН-1Г/ IVN-1G	4	не более 260	5-30
С52ИВН/ С52IVN	4	не более 200	5-30
SRUB- 350М	3	не более 50	25
PPM-3/ RRM-3	3	не более 300	5-30
Каваста BX62m / Kavasta BX62m	2	не более 100	3-15
Laski LS 100/27 C	4	не более 100	11

Источник: открытые данные производителей оборудования

Source: open data from equipment manufacturers

Машина, входящая в третий кластер, при самом высоком значении установленной мощности (29,4 кВт.) имеет высокую производительность (20 м³ /ч) и среднюю скорость вращения диска (1000 мин⁻¹). В четвертом кластере собраны машины, имеющие различную установленную мощность (5-30 кВт) и различными значениями производительности (5 – 20 м³ /ч), но примерно одинаковыми показателями скорости вращения диска (1000-1500 мин⁻¹).

Данные в табл. 2 разделены на 3 кластера (рис. 3). Был выбран наименьший k , который объясняет не менее 90 % дисперсии. (93,4626 %). Максимальное количество итераций в кластерах составило 3 (рис. 4).

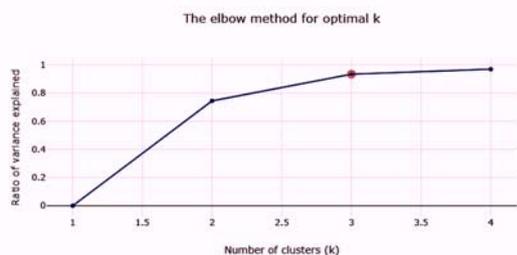


Рисунок 3. Зависимость для выбора количества кластеров при сравнительном анализе параметров измельчения сырья рубильными машинами
Figure 3: Dependence for selecting the number of clusters in the comparative analysis of raw material grinding parameters by chippers

Источник: Собственные вычисления авторов
Source: Authors' own calculations

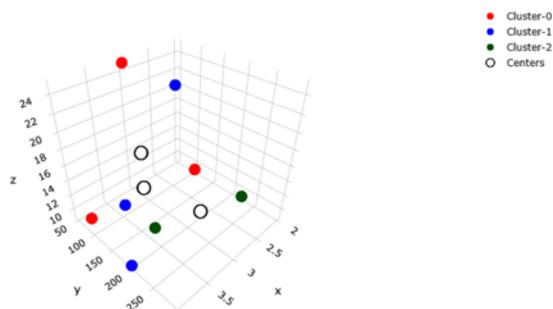


Рисунок 4. Идентификация кластеров при сравнительном анализе параметров измельчения сырья рубильными машинами
Figure 4: Identification of clusters in the comparative analysis of raw material chopping parameters by chippers

Источник: Собственные вычисления авторов
Source: Authors' own calculations

В конструкции *рубильных машин с приводом от вала отбора мощности и гидросистемы* можно выделить следующие группы:

1. Привод через ременную передачу измельчителя и через карданный вал механизма подачи;
2. Привод через карданную передачу измельчителя;
3. Привод через карданную передачу измельчителя и через гидромоторы механизма подачи.

Привод через ременную передачу измельчителя и через карданный вал механизма подачи применен в машине древесно-рубильная МДР-0,8, предназначенной для измельчения древесины в щепу, диаметр используемого ствола не более 150 мм для трактора Беларусь 82.1 и диаметр 200 мм для использования на тракторе МТЗ-1221.2, есть возможность подключения к электродвигателю. Измельченные древесные отходы, машина древесно-рубильная откидывает в сторону или грузит на транспортное средство (рис. 5).



Рисунок 5. Машина древесно-рубильная МДР-0,8
Figure 5. Woodchopping machine MDR-0.8

Источник: каталог компании «Севертехника»
Source: Severtehnika catalog.

URL: <https://sever-tehnika.ru/catalog/>

Машина снабжена дисковым рубильным органом с приводом от вала отбора мощности и системой передачи движения подачи материала для измельчения через ременную и зубчатую передачи, обеспечивающие вращение подающих вальцов, расположенных у входа в загрузочный патрон через карданные валы.

В случае заклинивания измельчаемого материала в кожухе рубильного диска возможно про-

скальзывание ремня ручье шкива, что можно рассматривать, как использование в конструкции машины предохранительного устройства.

Однако существенным недостатком данного конструктивного решения можно считать отсутствие в конструкции устройств экстренной остановки оборудования для повышения безопасности производимых работ.

Примером конструкции привода через карданную передачу измельчителя может являться рубильная машина (щепорез) ВРМ-600 (привод-ВОМ от трактора) (рис. 6), которая предназначена для измельчения древесины хвойных, мягких лиственных пород и березы с целью производства технологической и/или энергетической щепы.

Полученную в процессе измельчения щепу или опил направляют на дальнейшую грануляцию или используют в качестве продукта для отопления.



Рисунок 6. Дисковая рубильная машина (щепорез) ВРМ-600 (ВОМ от трактора)

Figure 6. Disc chipper VRM-600 (tractor PTO)

Источник: каталог компании ООО ЛесАгроМаш

Source: LesAgroMash LLC company catalog

URL:<https://tuzlist.ru/kirov/products/762411-diskovaya-rubitelnaya-mashina-scheporez-vm-600-vom-ot-trakt/>

В данном устройстве дисковый рубильный диск получает движение через карданный вал, соединенный с ВОМ трактора напрямую без использования промежуточных предохранительных элементов. Подача древесного сырья для измельчения происходит гравитационным способом, т.е. под действием собственного веса сырья.

В качестве недостатка следует отметить факт отсутствия в конструкции привода рубильной машины предохранительных устройств, что может сказаться на работоспособности машины в случаях загрузки материала диаметром, не предусмотренным техническими возможностями оборудования, или его заклинивания в кожухе измельчителя.

Конструктивная схема привода через карданную передачу измельчителя и через гидромоторы механизма подачи реализована в измельчителе с гидropодачей навесном ИВН-1Г (Ø 160; 200; 260) (рис. 7).



Рисунок 7. Измельчитель с гидropодачей навесной ИВН-1Г

Figure 7. Shredder with hydraulic feed mounted IVN-1G

Источник: каталог компании ООО «Цетрагроснаб»

Source: LLC "CetragroSNAB" company catalog

URL:<https://centragro59.ru/catalog/>

Машина снабжена рубильным диском и предназначена для переработки обрезков и отходов от древесины, а также для производства щепы и арболита. Навесной измельчитель веток устанавливается на трехточечную навеску трактора и подключается к ВОМу через карданный вал.

Промежуточных устройств для передачи вращательного движения конструкцией не предусмотрено. Также отсутствуют какие-либо предохранители на случай возникновения нештатных ситуаций. Энергетическое питание системы принудительной подачи сырья осуществляется от гидросистемы трактора.

Два зубчатых ролика (верхний и нижний), приводимые в действие двумя гидромоторами, затягивают материал и передают его в зону рубки. В конструкции измельчителя предусмотрено управление подачей материала с тремя положениями: "подача", "стоп" и "реверс".

Следует отметить, что наличие гидравлической подачи повышает скорость переработки сырья, но в случае заклинивания перерабатываемого сырья будет происходить перенаправление рабочего потока жидкости в резервную магистраль, что может сказаться на стабильности измельчения древесины в щепу.

Общим недостатком машин, оснащенных приводом от ВОМ, является отсутствие предохранительных устройств при передаче вращательного движения рубильному диску. Положительным моментом может являться применение гидропривода, но его характеризует высокая нестабильность работы в случае загрузки сырья, обладающего диаметром сырья не предусмотренными техническими возможностями машины.

Рубильные машины с электрическим приводом бывают следующих типов:

1. Привод через карданную передачу измельчителя через предохранительную муфту при гравитационной подаче;
2. Прямой привод измельчителя при гравитационной подаче;
3. Привод через ременную передачу привод измельчителя при гравитационной подаче измельчаемого материала.

Привод через карданную передачу измельчителя через предохранительную муфту при гравитационной подаче перерабатываемого материала применен в измельчителе веток дерева С52ИВН, который выпускается нескольких вариантах с приводом от ВОМ, электродвигателя и ДВС (рис. 8). Машина навесного типа.

Для измельчения щепы применен рубильный орган дискового типа. Механизм резания машины имеет 3 режущих ножа и 2 контрножа. Частота вращения диска составляет 1000 об/мин. Способен измельчать древесные отходы диаметром до 160 мм. Имеет производительность до 15 м³/ч. Устанавливается система регулировки размера получаемой щепы

«SizeControl» позволяет получать регулируемую фракцию щепы от 5 до 30 мм. Мощность привода от электродвигателя составляет 15-30 кВт.

Конструктивная особенность данной машины заключается в том, что она не имеет возможность производить измельчение тонкомерной древесины, превышающий диаметр более 30 мм, что соответствует техническим условиям получения продукции плантационных лесов.

Данный фактор обусловлен конструктивной схемой машины и тем, что она оборудуется электрическим приводом, главный недостаток которого – возрастание габаритных размеров с увеличением мощности двигателя.



Рис. 8. Измельчитель веток дерева С52ИВН (с электроприводом)

Figure 8. Tree branch chopper С52IVN (with electric drive)

Источник: каталог компании ООО «Цетрагроснаб»
Source: LLC "Cetragsnab" company catalog
URL: <https://centragro59.ru/catalog/>

Прямой привод измельчителя при гравитационной подаче имеет измельчитель древесины (щепорез) SRUB-350М (рис. 9), который предназначен для измельчения древесных отходов в щепу. Машина оснащена ротором с системами шипов и пазов, что позволяет получать калиброванную щепу без использования сеток.

Машина, используя в работе принцип постоянного самозахвата материала, обеспечивает выполнение заявленных технических возможностей при переработке древесины в щепу. Ножи изготовлены из стали марки 6ХВ2С, 6ХС, 9ХС по ГОСТ 25306-82. Конструктивно устройством является роторной дисковой дробилкой, снабженной тремя рубильными ножами.

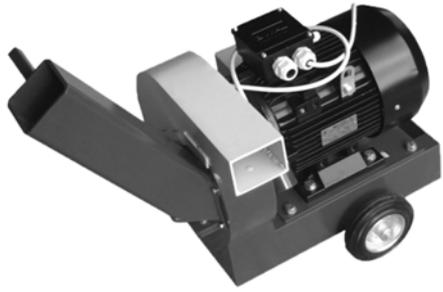


Рисунок 9. Измельчитель древесины (щепорез)
SRUB-350M

Figure 9. Wood chipper SRUB-350M

Источник: каталог компании «Завод Инфел»

Source: Infel Plant catalog (<http://infel-moscow.ru/drobilki/SRUB.html>)

При переработке древесины на щепу сырье первоначально попадает в специальный патрубок, где происходит его самозахват и направление к режущему инструменту.

Привод данной машины имеет все те же конструктивные недостатки, что и предыдущая конструкция рубильной машины. Помимо прочего данный тип машины является прицепным.

При этом база устройства является недостаточно надежной для ее применения в условиях лесных плантаций, где имеется наличие каменистых включений и древесных остатков.

Привод через ременную передачу привод измельчителя при гравитационной подаче измельчаемого материала реализован в роторно-молотковой щепорубилке РРМ-3, которая предназначена для утилизации древесных отходов, древесины с порками, ветвей, сучьев и вершин деревьев (рис.10). В данной конструкции вращательное движение от силовой установки передается через систему шкивов измельчающему ротору.

Щепорубилку возможно использовать для изготовления технологической щепы, топливной щепы, щепы для производства стройматериалов (арболит, древесно-стружечные плиты). Рубильная машина РРМ-3, являясь машиной роторного типа, оснащенной, помимо 3 ножей, также еще 9 молотками, производящими доизмельчение произведенной щепы. Диаметр ротора равен 350 мм, а мощность электродвигателя от 5 кВт. Выход готовой продукции составляет от 1,5 до 3 м³/ч с параметрами щепы от 5 до 30 мм. Щепорубилка оборудуется системой для просеивания щепы.



Рисунок 10. Роторно-молотковая щепорубилка
РРМ-3

Figure 10. Rotary Hammer Chipper RRM-3

Источник: каталог компании

Ассоциация предприятий БМП

Source: company catalog Association of BMP Enterprises (<https://drobilka.ru/products/4360-rubitelnaia-mashina-rrm-3>)

Используемая конструкция привода через ременную передачу уменьшает нагрузку на вал рубильного диска в случае заклинивания материала, но применение одноручейковых шкивов значительно снижает качественные показатели рабочего процесса измельчения, так как при возрастании нагрузки на ротор возможно постоянное проскальзывание ремня по поверхности шкивов.

Общим недостатком рубильных машин с электрическим приводом является ограниченная возможность роста энергонасыщенности машин для увеличения производительности производимых работ в условиях лесных плантаций, в виду корреляции габаритов электрических приводов рубильных установок с их мощностными показателями, что снижает мобильность устройств.

Также вызывает вопрос недостаточной автономности электрических рубильных машин, применение которых увязывается с наличием надежного источника электроэнергии. При этом следует отметить, что продолжительная работа электродвигателей под нагрузкой способствует их перегреванию, а соответственно снижает надежность рабочего процесса измельчения тонкомерного сырья.

Автономный привод на базе ДВС может использовать следующие принципы передачи движения от силового агрегата:

1. Привод через ременную передачу измельчителя при гравитационной подаче измельчаемого материала;

2. Привод через карданную передачу измельчителя и через гидромоторы механизма подачи.

В измельчителе веток Каваста ВХ62м применен автономный привод от ДВС черезременную передачу измельчителя при гравитационной подаче измельчаемого материала.

Измельчитель веток Каваста ВХ62м (рис. 11) дробит ветки, рейки, рейки и другие древесные отходы на щепу длиной 90...100 мм. Максимальный диаметр измельчаемых ветвей 100 мм. Готовая продукция поступает в бункер. Устройство оборудовано бензиновым двигателем мощностью 18 л. с. и оснащено 2 рубильными ножами. Рубильная машина дискового типа.

Подача древесного сырья осуществляется с применением принципа самозахвата измельчаемого материала рубильными ножами. Максимальная производительность машины составляет 4 м³/ч. Привод рубильного диска осуществляется при помощи клиноременной передачи. Выброс готовой продукции верхний чрез щепопровод. Малые габариты машины позволяют использовать ручную тягу без применения технических средств.

Данное рубильное оборудование характеризуется малая производительность, что может сказаться на экономических характеристиках реализации проекта по плантационному лесовыращиванию. К сожалению, малая мощность ДВС не позволит машинам данного типа производить качественное измельчение продукции плантационного лесоразведения до необходимых параметров.



Рисунок 11. Измельчитель веток Каваста ВХ62м

Figure 11. Kavasta ВХ62m Twig Shredder

Источник: каталог компании «Даймонд Электрик»

Source: Diamond Electric catalog

URL: <https://sarotov.diamondelectric.ru/catalog>

Применение ручной тяги также является сдерживающим фактором применения данного оборудования, потому что плантации лесов могут находиться на местности со сложным рельефом, и для эффективного применения рубильной машины будет необходимо ее агрегатирование с тракторами.

Автономный привод от ДВС через карданную передачу привод измельчителя и через гидромоторы механизма подачи применен в щепорезе бензиновом Laski LS 100/27 С, который представляет собой измельчитель древесного материала диаметром до 100 мм (рис. 12).

Машина предназначена для утилизации веток, стволов, хвороста, коры и других надземных частей растений. Щепорез оборудован вальцами для подачи материала с гидравлическим приводом, автоматической системой защиты двигателя от перегрузки, счетчиком моточасов, откидным и поворотным патрубком выгрузки.

Рубильная машина дискового типа, оснащенная 4 режущими ножами. Имеет бензиновый двигатель с воздушным охлаждением Kohler мощностью 25 л.с. Масса транспортного средства с прицепом составляет менее 3,5 т. Производительность щепореза составляет от 3 до 8 м³/ч.



Рисунок 12. Щепорез бензиновый

Laski LS 100/27 C

Figure 12. Laski LS 100/27 C gasoline brush cutter

Источник: каталог компании «АгроДиалог»

Source: AgroDialog catalog

(<https://www.agrodialog.ru/tekhnika-dlya-sada-i-parka/izmelchiteli-vetok/kommunalnye-izmelchiteli-vetok/kommunalnyj-izmelchitel-vetok-laski-ls-100-27cb-1349.html>)

Недостатком данного рубильного оборудования является наличие шасси с недостаточно надежными опорными колесами, что предполагает ограничение в применении машин данного типа в переработке продукции плантационных лесов на щепу, в случае их размещения на участках со сложным рельефом или наличием в зоне работы естественных препятствий в виде пней или каменных включений.

Общим конструктивным недостатком рубильных машин с автономным приводом от ДВС является недостаточная надежность работы данного оборудования ввиду того, что машины снабжаются двухтактными двигателями с воздушным охлаждением. Поэтому применение таких устройств сильно ограничивается по продолжительности процесса измельчения ввиду перегрева двигателей.

Результаты и обсуждение

На основании проведенного анализа конструктивных особенностей привода рубильных машин для измельчения энергетического древесного сырья, дисковые рубильные органы, в составе рубильных машин, оснащенных приводом от вала отбора мощности трактора, имеют наиболее перспективные возможности их использования для переработки продукции плантационного лесовыращивания.

Существующие рубильные машины с различным типом приводов не позволяют выполнять эффективную работу на территориях, занятых лесными плантациями вследствие физических характеристик получаемой продукции и конструктивных особенностей измельчителей.

Разработанное нами устройство для измельчения древесных остатков (рис. 13, 14) относится к лесному хозяйству, в частности, к оборудованию для измельчения порубочных остатков. [44].

Технической задачей нашей разработки является повышение эффективности процесса измельчения древесного сырья путем создания надежного и безопасного привода рубильной машины, предназначенной для производства щепы из древесного сырья в условиях вырубок.

Устройство для измельчения порубочных остатков, содержащее корпус загрузочного патрона

призматической формы 1, щепопровод 2, измельчитель 3, кожух измельчителя 4, ременную передачу 5, приводной вал 6, механизм подачи 7, состоящий из подающего устройства пальчикового типа 8 и подающих валцов 9, раму подъемного устройства 10, гидроцилиндр 11, трубопровод 12, масляный бачок 13, режущие диски 14, консоль 15, систему шкивов 16, понижающий редуктор 17, вал 18, клиноременную передачу 19, опорную площадку 20, опорные подшипники 21, ленточный тормоз 22 с рукояткой 23, вал 24, многоручейковый шкив большего диаметра 25, многоручейковый узел 26, многоручейковый шкив меньшего диаметра 27.

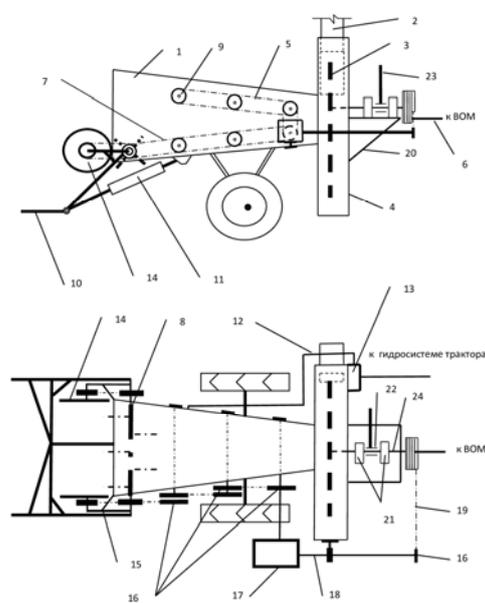


Рисунок 13. Устройство для измельчения порубочных остатков

Figure 13. Device for chopping felling residues

Источник: Авторский рисунок
Source: Author's drawing

Устройство для измельчения порубочных остатков работает следующим образом.

Маневрированием трактора устройство подается к куче порубочных остатков таким образом, чтобы рама подъемного устройства 10, шарнирно закрепленная с внешней стороны боковых стенок корпуса загрузочного патрона 1, располагалась в нижней части кучи порубочных остатков.

После этого в гидроцилиндре 11 при помощи трубопровода 12 и масляного бочка 13, соединен-

ного с гидросистемой трактора, создается избыточное давление. Вследствие этого шток гидроцилиндра 11, выходя из корпуса гидроцилиндра 11, воздействует на раму подъемного устройства 10. Так как рама подъемного устройства 10 представляет собой многосвязную систему, то горизонтальное движение штока гидроцилиндра 11 преобразуется в вертикальное движение рамы подъемного устройства 10.

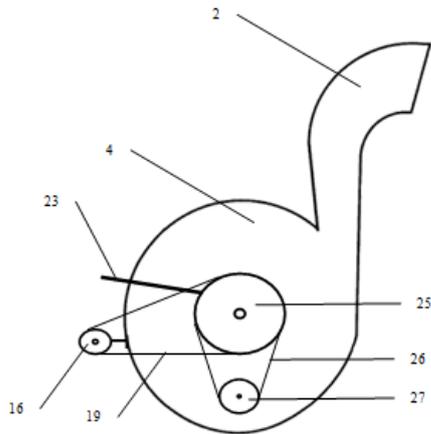


Рисунок 14. Механизм привода устройства для измельчения порубочных остатков
Figure 14. Drive mechanism of the device for chopping felling residues

Источник: Авторский рисунок
Source: Author's drawing

В результате куча порубочных остатков располагается на уровне большего основания корпуса загрузочного патрона 1, имеющего призматическую форму, прикрепленного меньшим основанием к измельчителю 3, а большее основание является входным отверстием для подачи порубочных остатков.

Вращающиеся режущие диски 14, имеющие жесткое крепление при помощи консоли 15 на оси подающего устройства пальчикового типа 8, расположенные по бокам входного окна корпуса загрузочного патрона 1, позволяют придать поступающим в корпус загрузочного патрона 1 порубочным остаткам нужные габаритные размеры.

Подающие вальцы 9, входящие в состав механизма подачи 7, оснащенные захватными зубьями, перпендикулярно прикрепленные к внутренним боковым стенкам корпуса загрузочного патрона 1 в два

ряда, обеспечивают постоянную подачу порубочных остатков в корпус загрузочного патрона 1 и дальнейшее движение порубочных остатков к измельчителю 3.

Вращательное движение подающего устройства пальчикового типа 8 и подающих вальцов 9, а соответственно и линейное движение измельчаемого материала в корпусе загрузочного патрона призматической формы 1 с определенной скоростью подачи, обеспечивается при помощи ременной передачи 5 и системы шкивов 16, которые через понижающий редуктор 17, вал 18, клиноременную передачу 19, соединенную с многоручейковым шкивом большего диаметра 25 через многоремный узел 26 и приводной вал 6 соединены с валом отбора мощности трактора через многоручейковый шкив меньшего диаметра 27.

Вращение измельчителя 3 производится через вал 24, соединенный с многоручейковым шкивом большего диаметра 25 и проходящего через опорные подшипники 21, размещенные на опорной площадке 20 и ленточный тормоз 22 с рукоятью 23. Разделенные измельчителем 3 порубочные остатки попадают в кожух измельчителя 4, а затем транспортируются в щепопровода 2 и далее поступают в приемную тару или остаются на вырубке для перегнивания.

Непрерывность подачи материала для измельчения обеспечивается путем перемещения машинно-тракторного агрегата на вырубке на пониженной передаче.

Конструкция устройства для измельчения порубочных остатков позволяет повысить эффективность процесса измельчения древесного сырья путем обеспечения безопасного производства работ при производстве щепы из порубочных остатков за счет использования ленточного тормоза с рукоятью и применения многоручейковых шкивов различного диаметра, соединенных между собой многоремным узлом.

Заключение

На основе проведенного анализа конструктивных и технологических параметров приводов рубильных машин для измельчения древесного сырья, нами была разработана конструктивная схема прицепного устройства для измельчения порубочных

остатков дискового типа с приводом рубильного диска и механизма привода подающих вальцов от вала отбора мощности трактора через предохранительную муфту и систему ременных передач.

Отличительной особенностью машины является то, что вращение измельчителя производится через вал, соединенный с многоручейковым шкивом большого диаметра, проходящего через опорные подшипники, размещенные на опорной площадке и ленточный тормоз с рукоятью, а вращательное движение подающего устройства пальчикового типа и подающих вальцов обеспечивается при помощи ременной передачи и системы шкивов, которые через

понижающий редуктор, вал, клиноременную передачу, соединенную с многоручейковым шкивом большого диаметра через многоремный узел и приводной вал соединены с валом отбора мощности трактора через многоручейковый шкив меньшего диаметра.

Такое конструктивное исполнение устройства для измельчения порубочных остатков позволяет повысить качество производимой продукции в виде топливной щепы за счет увеличения скорости измельчения сырья, снижения энергоемкости процесса резания и повышения безопасности выполняемых работ.

Список литературы

1. Беляев, С. В. Проблемы и перспективы получения и применения топлив из биомассы, снижающих выбросы парниковых газов / С. В. Беляев, М. С. Левина // *Resources and Technology*. 2022. №3, Т. 19. С. 83–100.- DOI: 10.15393/j2.art.2022.6463-URL:<https://cyberleninka.ru/article/n/problemy-i-perspektivy-polucheniya-i-primeneniya-topliv-iz-biomassy-snizhayuschih-vybrosov-pannikovyh-gazov>.
2. Böhlenius, Henrik Nilsson, Urban Salk, Carl. (2020). Liming increases early growth of poplars on forest sites with low soil pH. *Biomass and Bioenergy*. 138. 105572. 10.1016/j.biombioe.2020.105572. DOI: 10.1016/j.biombioe.2020.105572. URL:<https://www.Sciencedirect.Com/science/article/abs/pii/S0961953420301069#preview-section-abstract>
3. Фокин, С. В. Обоснование конструкции машин фрезерного типа для получения биотоплива в условиях лесов степной и лесостепной зон Поволжья / С.В. Фокин, О.Н. Шпортько // *Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика*. 2014. Т. 2. № 5-3 (10-3). С. 156-160.-EDN: TEMEQJ-DOI:10.12737/6950-URL:<https://www.elibrary.ru/item.asp?id=22778809>.
4. Драпалюк, М. В. Ресурсосберегающие технологии и техника при плантационном лесовыращивании и заготовке древесного сырья / М. В. Драпалюк, П. И. Попиков // *Энергоэффективность и энергосбережение в современном производстве и обществе. Материалы международной научно-практической конференции*. 2021. С. 350-357.- EDNOIGFWG- URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=47155573>.
5. Плыкин, В. Д. Нетрадиционные возобновляемые источники энергии : учебное пособие. – Ижевск: Изд-во «Удмуртский университет», 2013.172 с.-EDN: WEGYHY-URL:<https://www.elibrary.ru/item.asp?edn=wegyhy>
6. Фокин, С. В. Об использовании древесных отходов при восстановлении защитных лесных полос / С. В. Фокин, О. Н. Шпортько, В. В. Цыплаков // *Научная жизнь*. 2015. № 6. С. 134-142. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=25388509>.
7. Григорьева, О. И. Эффективная технология расчистки древесно-кустарниковой растительности / О. И. Григорьева, А. Б. Давтян // *Повышение эффективности лесного комплекса : Матер. Седьмой Всерос. нац. науч.-практ. конф. с междунар. участием*. Петрозаводск, 2021. С. 34–35. – EDN: ZXLLFI. – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?edn=zxllfi>.
8. Беляев, С. В. Современное состояние и перспективы применения биомассы для получения биотоплив / С. В. Беляев, Г. А. Давыдов, С. Н. Перский // *Актуальные вопросы науки и техники*.2015. С. 61–63. – EDN: TRCMYZ. – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=23355865>.
9. Фокин, С. В. Экологосберегающие технологии при ведении современных агролесомелиоративных мероприятий / С. В. Фокин, О. Н. Шпортько, А. С. Бурлаков // *Научная жизнь*. 2017. № 7. С. 78-91. EDN: ZHTTGX. URL:<https://elibrary.ru/item.asp?id=30058020>.

10. Технологический алгоритм производства продукции из порубочных остатков / А. П. Мохирев, К. П. Рукомойников, М. М. Герасимова [и др.] // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. 2023. № 1 (391). – С. 153–171. – DOI: 10.37482/0536-1036-2023-1-153-171. – URL: <https://journals.narfu.ru/index.php/fj/article/view/1343>.
11. Григорьев, И. В. Перспективные направления опытно-конструкторских работ в лесном машиностроении / И. В. Григорьев, О. А. Куницкая // Повышение эффективности лесного комплекса : Материалы III Всерос. научно-практич. конф. с междунар. участием. Петрозаводск, 2017. С. 53–56. – EDN: YTQUTK. – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=32681201>.
12. Добрецов, Р. Ю. Проблемы и перспективы использования в лесном комплексе машин с полугусеничным двигателем / Р. Ю. Добрецов, А. С. Дмитриев, И. В. Григорьев // Вестник АГАТУ. 2022. № 4 (8). С. 95–105. – URL: <https://new.nlrs.ru/open/99671>.
13. Justice S., Biggs S. The spread of smaller engines and markets in machinery services in rural areas of South Asia // Journal of Rural Studies. 2020. Т. 73. P. 10–20. – DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jrurstud.2019.11.013>.
14. Liao W., Zeng F., Chanicabate M. Mechanization of Small-Scale Agriculture in China: Lessons for Enhancing Smallholder Access to Agricultural Machinery // Sustainability. – 2022. – Т. 14. – №. 13. – P. 7964. – DOI: <https://doi.org/10.3390/su14137964>.
15. Negrete J. C. Analysis of the current situation of two wheels tractors in Mexico // Horticult. Int J. – 2020. – Т. 4. – №. 1. – С. 28–33. – DOI: <https://doi.org/10.15406/hij.2020.04.00152>.
16. Peters M. D. J. et al. Scoping reviews: reinforcing and advancing the methodology and application // Systematic reviews. – 2021. – Т. 10. – №. 1. – P. 1–6. – DOI: <https://doi.org/10.1186/s13643-021-01821-3>.
17. Rohani A. et al. Designing and modeling the power transmission mechanism for existing walking tractors to facilitate their guidance and turning // International Journal on Interactive Design and Manufacturing. – 2023. – Т. 10. – DOI: <https://doi.org/10.1007/s12008-023-01516-0>.
18. Takeshima H. Custom-hired tractor services and returns to scale in smallholder agriculture: a production function approach // Agricultural Economics. – 2017. – Т. 48. – №. 3. – P. 363–372. – DOI: <https://doi.org/10.1111/agec.12339>.
19. Takeshima H., Nin-Pratt A., Diao X. Mechanization and agricultural technology evolution, agricultural intensification in sub-Saharan Africa: Typology of agricultural mechanization in Nigeria // American Journal of Agricultural Economics. – 2013. – Т. 95. – №. 5. – P. 1230–1236. – DOI: <https://doi.org/10.1093/ajae/aat045>.
20. Tangtong C. et al. Risk factors associated with hand tractor related injuries among rice farmers in Thailand // Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal. – 2022. – Т. 28. – №. 1. – P. 43–57. – DOI: <https://doi.org/10.1080/10807039.2021.2014301>.
21. Тихонова, Е. В. Обзор предметного поля как метод синтеза научных данных / Е. В. Тихонова, Н. М. Шленская // Хранение и переработка сельхозсырья. – 2021. – № 3. – С. 11–25. – DOI 10.36107/spfp.2021.257. – EDN UUDXHJ. – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=48003100>.
22. Шамсутдинова, А. И. Внедрение инноваций в лесное хозяйство РФ и перспективы их развития / А. И. Шамсутдинова, Г. Ф. Илалова, А. Р. Мухтарова // Наука молодых - будущее России : Сборник научных статей 2-й Междунар. науч. конференции перспективных разработок молодых ученых. В 5 т., Курск, 13–14 декабря 2017 года / отв. ред. А. А. Горохов. Т. 5. – Курск : ЗАО "Университетская книга", 2017. – С. 211–213. – EDN YBBGRQ. – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=31736899>.
23. Чебукова, А. В. Методические основы внедрения «бережливого производства» / А. В. Чебукова, Г. Р. Гарипова, Я. С. Чернявская // Качество в производственных и социально-экономических системах: сб. науч. тр. 7-й Междунар. научно-техн. конф. Курск, 2019. С. 188–190. – EDN: CSSHIT. – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?edn=csshit>.

24. Проблемы повышения качества отечественного лесного машиностроения / О. А. Куницкая, В. А. Макуев, Т. Н. Стородубцева [и др.] // Системы. Методы. Технологии. 2022. № 4 (56). С. 57–63. – EDN: OHGHQS. – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=49848720>.
25. Фокин, С. В. Об основных видах энергетической древесины / С. В. Фокин, О. А. Фомина // Forest Engineering : материалы научно-практической конференции с международным участием. 2018. С. 273-276. – EDN: SMBQRR. – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=35278500>.
26. Голякевич, С. А. Анализ и перспективы использования лесозаготовительной техники в природно-производственных условиях Республики Беларусь / С. А. Голякевич // Труды БГТУ. Серия 1: Лесное хозяйство, природопользование и переработка возобновляемых ресурсов. 2021. № 2 (246). С. 188-195. – EDN: WYNXGI. – DOI: 10.52065/2519-402X-2021-246-23-188-195. – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=46408166>.
27. Фокин, С. В. Способы транспортирования щепы из рубильных машин / С. В. Фокин, О. А. Фомина // Научная жизнь. 2018. № 2. С. 10-15. – EDN: YVTTJL. – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=32788506>.
28. Varol T. et al. Efficiency Comparison of Mechanization Techniques in Nursery // European Journal of Forest Engineering. – 2019. – Т. 5. – № 2. – P. 68-76. – DOI: <https://doi.org/10.33904/ejfe.581652>.
29. Фокин, С. В. О конструктивных схемах подачи сырья к измельчителю в дисковых рубильных машинах / С. В. Фокин, О. Н. Шпортько // Инновационное техническое обеспечение агропромышленного комплекса : матер. науч.-техн. конференции с международным участием имени А.Ф. Ульянова. – Саратов, Вавиловский университет, 2023. С. 255-259. – EDN: UXRMSA. – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?edn=uxrmca>.
30. Zhang X., Yang J., Thomas R. Mechanization outsourcing clusters and division of labor in Chinese agriculture // China Economic Review. – 2017. – Т. 43. – P. 184–195. – DOI: <https://doi.org/10.1016/j.chieco.2017.01.012>.
31. Фокин, С. В. К вопросу переработки древесных отходов на предприятиях АПК / С. В. Фокин, О. Н. Шпортько, К. С. Маньшев // Современное экологическое состояние природной среды и научно-практические аспекты рационального природопользования : Матер. II междунар. науч.-практ. интернет-конференции ФГБНУ «Прикаспийский НИИ аридного земледелия». 2017. С. 1822-1825. – EDN: ZANRSL. – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=29727486>.
32. Мясищев, Д. Г. Оптимизация конструктивных параметров системы "рабочий орган - мотошасси" для измельчения напочвенного растительного покрова / Д. Г. Мясищев, С. А. Путинцев // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. – 2016. – № 215. – С. 149-162. – DOI 10.21266/2079-4304.2016.215.149-162. – EDN: WAXWCF. – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=26180945>.
33. Мясищев, Д. Г. Потенциал малой механизации в лесохозяйственных технологических процессах / Д. Г. Мясищев // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. – 2018. – № 1(361). – С. 70–79. – DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.1.70. – EDN: YNMFBS. – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=32367561>.
34. Djordjevich S. J., Djordjevich-Miloshevich S. B., Miloshevich S. M. Assessment of Conditions and Experience for Plantation of Agro-Energy Crops on Degraded Agricultural Land in Serbia // World Academy of Science, Engineering and Technology International Journal of Agricultural and Biosystems Engineering. 2016. Vol. 10(7). P. 447-50. DOI: doi.org/10.5281/zenodo.1125827. URL: <https://publications.waset.org/10005064>.
35. Якимов, В. А. Экспериментальное исследование лесного посевного агрегата на базе мотошасси / В. А. Якимов, Д. Г. Мясищев // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. – 2014. – Т. 2, № 3-4(8-4). – С. 95–98. – DOI 10.12737/4347. – EDN: SHVQVL. – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=21744407>.
36. Заровняев, Т. Д. Технологический процесс по переработке отходов лесозаготовительного производства / Т. Д. Заровняев, Е. И. Никитина, О. А. Куницкая // Современные проблемы и достижения аграрной науки в Арктике : Сб. науч. ст. по материалам Всерос. студ. научно-практ. конф. с междунар. участием в рамках «Северного форума – 2020» (29-30 сент. 2020 г., Якутск) и Междунар. науч. онлайн летней школы – 2020 (6-20 июля 2020 г., Якутск). Якутск, 2020. С. 107–114. – EDN: QJTFUA. – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?edn=qjtfua>.

37. Новиков, А. И. Опыт применения альтернативных источников энергии в транспортно-технологическом комплексе / А. И. Новиков // Альтернативные источники энергии в транспортно-технологическом комплексе: проблемы и перспективы рационального использования. – 2014. – Т. 1, № 1 (1). – С. 62–65. – EDN: TJQQLD. – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=23015125>.

38. Столбин, В. С. Анализ научных исследований в области оценки экологического воздействия лесопромышленных машин и технологий на лесные экосистемы / В. С. Столбин, С. А. Голякевич // Труды БГТУ. Серия 1: Лесное хозяйство, природопользование и переработка возобновляемых ресурсов. – 2020. – № 2 (234). – С. 149–159. – EDN: NOYNNM. – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=43937082>.

39. Котельников, Н. В. Техничко-экономическое обоснование проекта по внедрению биотопливного котла для утилизации древесных порубочных остатков / Н. В. Котельников, Е. В. Пруидзе, С. П. Гагунов // Байкальская наука: идеи, инновации, инвестиции. – Иркутск, 2019. С. 14–20. – EDN: NRPZQA. – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=42573994>.

40. Григорьев, В. И. Лесные плантации в Азиатско-Тихоокеанском регионе / В. И. Григорьев // Наука и инновации: векторы развития : матер. междунар. науч.-практ. конференции молодых ученых, Барнаул, 24-25 октября 2018 года. С. 75-78. – EDN: RZXKVD. – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=37324863>.

41. Технологический алгоритм производства продукции из порубочных остатков / А. П. Мохирев, К. П. Рукомойников, М. М. Герасимова, С. О. Медведев, М. А. Зырянов // Изв. вузов. Лесн. журн. 2023. № 1. С. 153–171. – EDN: RMNTFL. – DOI: <https://doi.org/10.37482/0536-1036-2023-1-153-171>. – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?edn=rmntfl>.

42. Любов, В. К. Повышение эффективности энергетического использования биотоплива / В. К. Любов, И. И. Цыпнятов // Изв. вузов. Лесн. журн. 2023. № 1. С. 172–185. – EDN: JSRLLQ. – DOI: <https://doi.org/10.37482/0536-1036-2023-1-172-185>. – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=50260969>.

43. Шегельман, И. Р. Типизация лесных территорий по природно-производственным условиям на основе кластерного анализа / И. Р. Шегельман, П. В. Будник // Изв. ВУЗов. Лесной журнал, 2021. № 1. С. 120–137. – EDN: XORRKH. – DOI: 10.17238/issn0536-1036. – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=44729465>.

44. Патент на полезную модель № 221 248 U1, МПК В27L 11/00 (2006.01), А01G 23/00 (2006.01), СПКВ27L 11/00 (2023.08), А01G 23/00 (2023.08) Устройство для измельчения порубочных остатков / Фокин С. В., Медведева П. Ю.; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО Вавиловский университет. – № 2023123326; заявл. 08.09.2023; опубл. 26.10.2023 Бюл. № 30.

45. Малюков, С. В. Анализ конструкций и режимов работы дисковых рубительных машин / С. В. Малюков, А. А. Аксенов, М. А. Малюкова // Лесотехнический журнал. – 2021. – Т. 11, № 4 (44). – С. 139–149. – DOI: 10.34220/issn.2222-7962/2021.4/12. – <https://elibrary.ru/xknnup>.

References

1. Belyaev S. V. Problems and prospects of production and application of biomass fuels reducing greenhouse gas emissions / S. V. Belyaev, M. S. Levina // Resources and Technology. V. Problems and prospects of obtaining and using biomass fuels that reduce greenhouse gas emissions / S. V. Belyaev, M. S. Levina // Resources and Technology. 2022. No. 3, Vol. 19. P. 83-100.- DOI: 10.15393/j2.art.2022.6463 - (In Russ.)- URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/problem-i-perspektivy-poucheniya-i-primeneniya-topliv-iz-biomassy-snizhayuschih-vybrosy-parnikovyh-gazov>.

2. Böhlenius, Henrik Nilsson, Urban Salk, Carl. (2020). Liming increases early growth of poplars on forest sites with low soil pH. Biomass and Bioenergy. 138. 105572. 10.1016/j.biombioe. 2020.105572. DOI: 10.1016/j.biombioe.2020.105572.URL:<https://www.Sciencedirect.Com/science/article/abs/pii/S0961953420301069#preview-section-abstract>

3. Fokin S.V. Justification of the design of milling-type machines for biofuel production in the conditions of forests of steppe and forest-steppe zones of the Volga region / S.V. Fokin, O.N. Shportko // Actual directions of scientific research

of the XXI century: theory and practice. 2014. Т. 2. № 5-3 (10-3). P. 156-160.- EDN: TEMEQJ- DOI: 10.12737/6950- (In Russ.)-URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=22778809>.

4. Drapalyuk M.V. Resource-saving technologies and techniques in plantation forestry and wood raw material harvesting / M.V. Drapalyuk, P.I. Popikov // In Collection: Energy efficiency and energy saving in modern production and society. Materials of the international scientific-practical conference. 2021. P. 350-357.- EDN OIGFWG- (In Russ.)- URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=47155573>.

5. Plykin V.D. Non-traditional renewable energy sources: textbook// Izhevsk: Izhevsk: Izdvo "Udmurt University", 2013.172 p.- EDN: WEGYHY- (In Russ.)- URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?edn=wegyhy>.

6. Fokin S.V. On the use of wood waste in the restoration of protective forest belts / S.V. Fokin, O.N. Shportko, V.V. Tsyplakov// Scientific Life. 2015. № 6. P. 134-142.- EDN: VJOZRD- (In Russ.)- URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=25388509>.

7. Grigorieva O. I. Effective technology of clearing woody and shrubby vegetation // O. I. Grigorieva, A. B Davtyan / Increasing the efficiency of forest complex: Proceedings of the Seventh All-Russian. national. scientific-practical conf. with international participation. Petrozavodsk, 2021.P. 34-35.- EDN: ZXLLFI- (In Russ.)- URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?edn=zxllfi>.

8. Belyaev S. V. Current state and prospects of biomass application for biofuels / S. V. Belyaev, G. A. Davydkov, S. N. Persky // Actual issues of science and technology. 2015. P. 61-63.- EDN: TRCMYZ- (In Russ.)- URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=23355865>.

9. Fokin, S.V. Ecological-saving technologies in the conduct of modern agroforestry measures / S.V. Fokin, O.N. Shportko, A.S. Burlakov // Scientific Life. 2017. № 7. P. 78-91.- EDN: ZHTTGX- (In Russ.)- URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=30058020>.

10. Mokhirev A. P. Technological algorithm for production of products from felling residues / A. P. Mokhirev, K. P. Rukomoynikov, M. M. Gerasimova [et al.] // Izvestiyavysokikhkuchebnykhobrazovaniye. Forestry journal.2023. № 1 (391). P. 153—171.- DOI:10.37482/0536-1036-2023-1-153-171- (In Russ.)- URL: <https://journals.narfu.ru/index.php/fj/article/view/1343>.

11. Grigoriev I. V. Perspective directions of development work in forest machine building / I. V. Grigoriev, O. A. Kunitskaya // Increasing the efficiency of forestry complex: Proceedings of the Third All-Russian Scientific and Practical Conf. with international participation. Petrozavodsk, 2017.P. 53-56.- EDN: YTQUTK- (In Russ.)- URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=32681201>.

12. Dobretsov, R. Yu. Problems and prospects for the use of forestry complex machines with a half-track / R. Yu. Dobretsov, A. S. Dmitriev, I. V. Grigoriev // Bulletin of AGATU. 2022.№ 4 (8).P. 95-105.- (In Russ.)- URL: <https://new.nlrs.ru/open/99671>.

13. Justice S., Biggs S. The spread of smaller engines and markets in machinery services in rural areas of South Asia // Journal of Rural Studies. 2020. Т. 73. P. 10–20. – DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jrurstud.2019.11.013>.

14. Liao W., Zeng F., Chaniebate M. Mechanization of Small-Scale Agriculture in China: Lessons for Enhancing Smallholder Access to Agricultural Machinery //Sustainability. – 2022. – Т. 14. – №. 13. – P. 7964. – DOI: <https://doi.org/10.3390/su14137964>.

15. Negrete J. C. Analysis of the current situation of two wheels tractors in Mexico //Horticult. Int J. – 2020. –Т. 4. – №. 1. – P. 28-33. – DOI: <https://doi.org/10.15406/hij.2020.04.00152>.

16. Peters M. D. J. et al. Scoping reviews: reinforcing and advancing the methodology and application //Systematic reviews. – 2021. – Т. 10. – №. 1. – P. 1-6. – DOI: <https://doi.org/10.1186/s13643-021-01821-3>.

17. Rohani A. et al. Designing and modeling the power transmission mechanism for existing walking tractors to facilitate their guidance and turning //International Journal on Interactive Design and Manufacturing. – 2023. – Т. 10. – DOI: <https://doi.org/10.1007/s12008-023-01516-0>.

18. Takeshima H. Custom-hired tractor services and returns to scale in smallholder agriculture: a production function approach // *Agricultural Economics*. – 2017. – Т. 48. – №. 3. – P. 363-372. – DOI: <https://doi.org/10.1111/agec.12339>.
19. Takeshima H., Nin-Pratt A., Diao X. Mechanization and agricultural technology evolution, agricultural intensification in sub-Saharan Africa: Typology of agricultural mechanization in Nigeria // *American Journal of Agricultural Economics*. – 2013. – Т. 95. – №. 5. – P. 1230-1236. – DOI: <https://doi.org/10.1093/ajae/aat045>.
20. Tangtong C. et al. Risk factors associated with hand tractor related injuries among rice farmers in Thai-land // *Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal*. – 2022. – Т. 28. – №. 1. – P. 43-57. – DOI: <https://doi.org/10.1080/10807039.2021.2014301>.
21. Tikhonova E. V. V. Review of the subject field as a method of synthesizing scientific data / E. V. Tikhonova, N. M. Shlenskaya // *Storage and processing of agricultural raw materials*. – 2021. – № 3. – P. 11-25. – DOI 10.36107/spfp.2021.257. – EDN UUDXHJ.- (In Russ.) – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=48003100>.
22. Shamsutdinova, A. I. Introduction of innovations in forestry of the Russian Federation and prospects for their development / A. I. Shamsutdinova, G. F. Ilalova, A. R. Mukhtarova // *Science of young people - the future of Russia : Collection of scientific articles of the 2nd International scientific conference of promising developments of young scientists*. In 5 volumes, Kursk, December 13-14, 2017 / Editor-in-Chief A.A. Gorokhov. Volume 5. – Kursk: Closed Joint Stock Company "Universitetskayakniga", 2017. – P. 211-213. – EDN YBBGRQ.- (In Russ.)- URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=31736899>.
23. Chebukova A. V. Methodological foundations of the implementation of "lean manufacturing" / A. V. Chebukova, G. R. Garipova, J. S. Chernyavskaya // *Quality in production and socio-economic systems: a collection of scientific articles / edited by A. V. Chebukova, G. R. Garipova, J. S. Chernyavskaya*. 7th Intern.scientific and technical conf. Kursk, 2019. P. 188-190.- EDN: CSSHIT.- (In Russ.)- URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?edn=csshit>.
24. Kunitskaya O. Kunitskaya, O. A.; Makuev, V. A.; Storodubtseva, T. N. [et al.] // *Systems. Methods. Technologies*. 2022. № 4 (56). P. 57-63.- EDN: OHGHQS.- (In Russ.)- URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=49848720>.
25. Fokin S.V. About the main types of energy wood / Fokin S.V., Fomina O.A. // In collection: *Forest Engineering. materials of scientific and practical conference with international participation*. 2018. P. 273-276.- EDN: SMBQRR-(In Russ.)-<https://www.elibrary.ru/item.asp?id=35278500>.
26. Golyakevich, S.A. Analysis and perspectives of forestry equipment use in natural and production conditions of the Republic of Belarus / S.A. Golyakevich // *Proceedings of the Belarusian State Technical University. Series 1: Forestry, nature management and processing of renewable resources*. 2021. № 2 (246). P. 188-195.- EDN: WYNXGI- DOI: 10.52065/2519-402X-2021-246-23-188-195- (In Russ.)- URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=46408166>.
27. Fokin, S.V.Fokin, O.A.Fomina / S.V.Fokin, O.A.Fomina // *Scientific Life*. 2018. № 2. P. 10-15. .- EDN: YVTTJL- (In Russ.)- URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=32788506>.
28. Varol T. et al. Efficiency Comparison of Mechanization Techniques in Nursery // *European Journal of Forest Engineering*. – 2019. – Т. 5. – №. 2. – P. 68-76. – DOI: <https://doi.org/10.33904/ejfe.581652>.
29. Fokin, S.V. About constructive schemes of raw material feeding to the chopper in disk chopping machines / S.V. Fokin, O.N. Shportko // in *Proceedings of the scientific and technical conference with international participation named after A.F. Ulyanov. "Innovative technical support of agroindustrial complex"*. Saratov, Vavilov University, 2023. P. 255-259.- EDN: UXRMC A- (In Russ.)- URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?edn=uxrmca>.
30. Zhang X., Yang J., Thomas R. Mechanization outsourcing clusters and division of labor in Chinese agriculture // *China Economic Review*. – 2017. – Т. 43. – P. 184-195. – DOI: <https://doi.org/10.1016/j.chieco.2017.01.012>.
31. Fokin S.V. To the issue of wood waste processing at the enterprises of agro-industrial complex / S.V. Fokin, O.N. Shportko, K.S. Manyshev // *Proceedings of the II International Scientific and Practical Internet Conference "Modern ecological state of the natural environment and scientific and practical aspects of rational nature management"*. FGBNU

"Caspian Research Institute of Arid Agriculture". 2017. P. 1822-1825.- EDN: ZANRSL- (In Russ.)- URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=29727486>.

32. Myasishchev, D. G. Optimization of design parameters of the system "working body - motor chassis" for shredding of ground cover / D. G. Myasishchev, S. A. Putintsev // *Izvestiya St. Petersburg Forestry Academy*. - 2016. - № 215. - P. 149-162. - DOI 10.21266/2079-4304.2016.215.149-162. - EDN WAXWCF. - (In Russ.)- URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=26180945>.

33. Myasishchev, D.G. Potential of small mechanization in forestry technological processes / D.G. Myasishchev // *Izvestiyavysokikhkuchebnykhkuchebnykhobrazovaniye*. Forestry journal. - 2018. - № 1(361). - P. 70-79. - DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.1.70. - EDN YNMFBS. - (In Russ.)- URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=32367561>.

34. Djordjevich S.J., Djordjevich-Miloshevich S.B., Miloshevich S.M. Assessment of Conditions and Experience for Plantation of Agro-Energy Crops on Degraded Agricultural Land in Serbia // *World Academy of Science, Engineering and Technology International Journal of Agricultural and Biosystems Engineering*. 2016. Vol. 10(7). P. 447-50.-DOI: doi.org/10.5281/zenodo.1125827- URL:<https://publications.waset.org/10005064>.

35. Yakimov, V. A. Experimental study of forest seeding unit based on motorized chassis / V. A. Yakimov, D. G. Myasishchev // *Actual directions of scientific research of the XXI century: theory and practice*. - 2014. - T. 2, № 3-4(8-4). - P. 95-98. - DOI 10.12737/4347. - EDN SHVQVL. -(In Russ.)- URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=21744407>.

36. Zarovnyaev T. D. Technological process for recycling of logging waste / T. D. Zarovnyaev, E. I. Nikitina, O. A. Kunitskaya // *Modern problems and achievements of agrarian science in the Arctic: Collection of scientific articles on the materials of the All-Russian student scientific-practical conference with international participation in the framework of the "Northern Forum - 2020" (September 29-30, 2020, Yakutsk) and the International Scientific Online Summer School - 2020 (July 6-20, 2020, Yakutsk)*. Yakutsk, 2020.P. 107-114.- EDN: QJTFUA- (In Russ.)- URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?edn=qjtfua>.

37. Novikov A. I. Experience in the application of alternative energy sources in the transport and technological complex / A. I. Novikov // *Alternative energy sources in the transport and technological complex: problems and prospects of rational use*. - 2014. - T. 1, № 1 (1). - P. 62-65. - EDN: TJQQLD -(In Russ.)- URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=23015125>

38. Stolbin V. S. Analysis of scientific research in the field of assessing the environmental impact of forestry machines and technologies on forest ecosystems / V. S. Stolbin, S. A. Golyakevich // *Proceedings of BSTU. S. Analysis of scientific research in the field of assessing the environmental impact of forest machines and technologies on forest ecosystems / V. S. Stolbin, S. A. Golyakevich // Proceedings of BSTU. Series 1: Forestry, nature management and processing of renewable resources*. - 2020. - № 2(234). - P. 149-159. - EDN: NOYHHM-(In Russ.)- URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=43937082>.

39. Kotelnikov N. V. V. Feasibility study of the project for the implementation of biofuel boiler for the utilization of wood felling residues / N. V. Kotelnikov, E. V. Pruidze, S. P. Gagunov // *Baikal Science: ideas, innovations, investments*. Irkutsk, 2019.P. 14-20.- EDN: NRPZAQ- (In Russ.)- URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=42573994>.

40. Grigoriev V. I. Forest plantations in the Asia-Pacific region / V. I. Grigoriev // in *Proceedings of the International Scientific and Practical Conference of Young Scientists "Science and Innovation: vectors of development"*, Barnaul, October 24-25, 2018. P. 75-78. - EDN: RZXKVD - (In Russ.). - URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=37324863>.

41. Mokhitev A.P. Technological algorithm for production of products from felling residues / A.P. Mokhitev, K.P. Rukomoynikov, M.M. Gerasimova, S.O. Medvedev, M.A. Zyryanov // *Izv. of universities. Lesn. zhurn*. 2023. № 1. C. 153-171.- EDN: RMNTFL- DOI: <https://doi.org/10.37482/0536-1036-2023-1-153-171>-(In Russ.)-URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?edn=rmntfl>.

42. Lyubov V.K. Increasing the efficiency of energy utilization of biofuel / V.K. Lyubov, I.I. Tsypnyatov // *Izv. of higher education institutions. Lesn. zhurn.* 2023. № 1. С. 172-185.- EDN: JSRLL0- DOI: <https://doi.org/10.37482/0536-1036-2023-1-172-185>- (In Russ.)- URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=50260969>.

43. Shegelman, I.R. Typization of forest areas by natural and production conditions on the basis of cluster analysis / I.R. Shegelman, P.V. Budnik // *Iz.VUZ Forestry Journal*, 2021. № 1. С. 120-137.- EDN: XORRKH-(In Russ.)- DOI: 10.17238/issn0536-1036- URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=44729465>.

44. Patent for utility model No. 221 248 U1 , IPC B27L 11/00 (2006.01),A01G 23/00 (2006.01), SPC B27L 11/00 (2023.08), A01G 23/00 (2023.08) Device for chopping felling residues / Fokin S. V, MedvedevaP.Yu.; applicant and patentee FGBOU VO Vavilov University. - No. 2023123326; application.08.09.2023; publ. 26.10.2023 Bul. No. 30.- (In Russ.).

45. Malyukov, S. V. Analysis of designs and operating modes of disk chopping machines / S. V. Malyukov, A. A. Aksenov, M. A. Malyukova // *Lesotechnical Journal*. - 2021. - Т. 11, № 4(44). - С. 139-149. - (In Russ.)- DOI 10.34220/issn.2222-7962/2021.4/12. - <https://elibrary.ru/xknnup>.

Сведения об авторах

✉ *Фокин Сергей Владимирович* – д.т.н., профессор, ФГБОУ ВО «Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии имени Н.И. Вавилова», пр-кт им. Петра Столыпина, зд. 4, стр. 3, г. Саратов, Российская Федерация, 410012, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9575-7764>, e-mail: feht@mail.ru.

Медведева Полина Юрьевна – аспирант, ФГБОУ ВО «Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии имени Н.И. Вавилова», пр-кт им. Петра Столыпина, зд. 4, стр. 3, г. Саратов, Российская Федерация, 410012, ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-9708-4182>, e-mail: pelageam@mail.ru.

Попиков Виктор Петрович – к.т.н., доцент, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова», ул. Тимирязева, 8, г. Воронеж, Российская Федерация, 394087, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2499-2772>, e-mail: kafedra.laip@inbox.ru.

Information about the authors

✉ *Sergey V. Fokin* – Doctor of Technical Sciences, Professor, N.I. Vavilov Saratov State University of Genetics, Biotechnology and Engineering, Petr Stolypin Ave., zd. 4, p. 3., Saratov, Russian Federation, 410012, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9575-7764>, e-mail: feht@mail.ru.

Polina Yu. Medvedeva – postgraduate student, N.I. Vavilov Saratov State University of Genetics, Biotechnology and Engineering, Petr Stolypin Ave., zd. 4, p. 3., Saratov, Russian Federation, 410012, ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-9708-4182>, e-mail: pelageam@mail.ru.

Victor P. Popikov – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, Timiryazeva str., 8, Voronezh, Russian Federation, 394087, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2499-2772>, e-mail: kafedra.laip@inbox.ru.

✉- Для контактов/Corresponding author