

Леса России и хозяйство в них. 2025. № 3 (94). С. 120–135.

Forest of Russia and economy in them. 2025. № 3 (94). P. 120–135.

Научная статья

УДК 630.83/674.8

DOI: 10.51318/FRET.2025.94.3.013

ОБОСНОВАНИЕ РАЦИОНАЛЬНОЙ ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА ТОПЛИВНОЙ ЩЕПЫ В УСЛОВИЯХ РЕАЛЬНЫХ РАССТОЯНИЙ ТРАНСПОРТИРОВКИ СЫРЬЯ И ГОТОВОЙ ПРОДУКЦИИ

Сергей Николаевич Долматов

Сибирский государственный университет науки и технологий им. академика М. Ф. Решетнева,
Красноярск, Россия

pipinaskus@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-9297-3699>

Аннотация. В статье рассмотрены актуальные вопросы, связанные с утилизацией лесосечных отходов, низкокачественной древесины путем вовлечения этих ресурсов в производство топливной щепы. Рассмотрены вопросы производства топливной щепы за рубежом. Определены объемы ресурсов, подлежащих переработке. Проанализированы две альтернативные технологии производства. Первая – на основе стационарного измельчающего оборудования, дислоцированного на нижнем складе. В этом случае на нижний склад доставляется древесное сырье, подлежащее измельчению. Вторая технология основана на применении самоходных рубительных машин, находящихся непосредственно на лесосеке. В этом случае на склад предприятия доставляется готовая щепа. Основной упор в работе сделан на применение либо отечественного оборудования, либо оборудования, выпускаемого в дружественных странах. Определена себестоимость готовой продукции в зависимости от расстояния транспортировки и объема производства. Установлено, что с увеличением расстояния транспортировки свыше 70 км более выгодным становится вариант применения мобильных рубительных машин на лесосеке и доставки щепы автомобилями-щеповозами. Увеличение годового объема переработки от 80 тыс. м³ и более приводит к существенному снижению уровня себестоимости готовой щепы. Выявлено, что в текущих экономических условиях переработка незначительных объемов (5–10 тыс. м³) в год фактически невыгодна. Причина – дороговизна оборудования и значительные текущие затраты по его содержанию. Материалы работы могут быть использованы при принятии решений в области переработки древесных ресурсов на топливную щепу, обосновании рациональных расстояний транспортировки, технологии и объемов переработки.

Ключевые слова: топливная щепа, комплексная переработка древесного сырья, древесные отходы, расстояние транспортировки, объем переработки, себестоимость

Для цитирования: Долматов С. Н. Обоснование рациональной технологии производства топливной щепы в условиях реальных расстояний транспортировки сырья и готовой продукции // Леса России и хозяйство в них. 2025. № 3 (94). С. 120–135.

Original article

JUSTIFICATION OF RATIONAL TECHNOLOGY OF FUEL CHIPS PRODUCTION UNDER CONDITIONS OF REAL DISTANCES OF TRANSPORTATION OF RAW MATERIALS AND FINISHED PRODUCTS

Sergey N. Dolmatov

Reshetnev Siberian State University of Science and Technology,
Krasnoyarsk, Russia
pipinaskus@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-9297-3699>

Abstract. The article considers current issues related to the utilization of logging waste, low-quality wood by involving these resources in the production of fuel chips. The issues of fuel chips production abroad are considered. The volumes of resources to be processed are determined. Two alternative production technologies are analyzed. The first is based on stationary shredding equipment located at the lower warehouse. In this case, wood raw materials to be shredded are delivered to the lower warehouse. The second technology is based on the use of self-propelled chipping machines located directly at the cutting area. In this case, finished chips are delivered to the enterprise's warehouse. The main focus is on the use of either domestic equipment or equipment manufactured in friendly countries. The cost of finished products is determined depending on the transportation distance and production volume. It is established that with an increase in the transportation distance over 70 km, the option of using mobile chipping machines at the cutting area and delivering chips by vehicles – chip trucks becomes more profitable. Increasing the annual processing volume from 80 thousand m³ and more leads to a significant reduction in the cost of finished chips. It has been revealed that in the current economic conditions, the processing of insignificant volumes (5–10 thousand m³) per year is actually unprofitable. The reason is the high cost of equipment and significant current costs for its maintenance. The materials of the researches can be used when making decisions in the field of processing wood resources into fuel chips, justifying rational transportation distances and processing volumes.

Keywords: fuel chips, complex processing of wood raw materials, wood waste, transportation distance, processing volume, cost

For citation: Dolmatov S. N. Justification of rational technology of fuel chips production under conditions of real distances of transportation of raw materials and finished products // Forests of Russia and economy in them. 2025. № 3 (94). P. 120–135.

Введение

Древесные ресурсы, в том числе низкокачественная древесина и древесные отходы, являются ценными ресурсами и позволяют использовать их для выработки широкой номенклатуры продукции и товаров. Обоснованием выпуска той или иной продукции является наличие производительных сил, соответствующего оборудования, платежеспособного спроса на рынке, соответствующих мер нормативно-правового, административного регулирования, субсидирования или, наоборот, мер, ограничивающих использование товара или

технологии, штрафных санкций ограничений и запретов. Условия функционирования лесной промышленности России претерпевают ряд изменений, которые соответствуют как мировым тенденциям и трендам, так и местным особенностям. В основании сферы материального производства находится принятая, освоенная и исторически сложившаяся технология. Львиная доля лесозаготовок в СССР осуществлялась на основе применения так называемой хлыстовой технологии, когда из лесосек древесина транспортировалась в виде хлыстов. Особенности такой технологии

является достаточно высокая степень извлечения полезных ресурсов биомассы, потенциально имеющихся на территории лесосеки. В зависимости от используемой технологии (механизированная или машинная) фактически на лесосеке оставались вершинные части деревьев, части кроны и корневой системы, тонкомерные деревья. Действующие в то время предприятия по заготовке древесной зелени, пневого осмола минимизировали объемы древесной массы, оставляемой на лесосеке.

В общем случае объемы образуемых отходов лесозаготовки зависят от объемов заготовки и вывозки леса. При реализации хлыстовой технологии с раскряжевкой хлыстов на сортименты на нижних складах объемы лесосечных отходов составляли 3–5 % от объема вывозки. Поступление на нижние склады древесины в хлыстах требовало интенсивного развития технологии нижнескладских работ, серийного выпуска и активного применения большегрузных кранов, раскряжевочных и сортировочных линий. Значительная металлоемкость таких производств на тот момент не являлась существенным недостатком. Отходы раскряжевки в виде откомлевок, вершинных частей хлыста, низкокачественной стволовой древесины успешно перерабатывались на топливную и технологическую щепу стандартными цехами на основе установок УПЩ-3, УПЩ-6, УПЩ-12.

Кардинальные изменения в технологии лесосечных работ произошли с началом широкого внедрения так называемой скандинавской технологии сортиментной лесозаготовки. При работе по этой технологии основное действующее оборудование – это харвестер и форвардер. Комплекс машин позволяет получить сортименты прямо на лесосеке. Следовательно, к складам-терминалам, тяготеющим к магистральным транспортным артериям, больше не предъявлялись требования по обязательному наличию обширного кранового хозяйства, раскряжевочных и сортировочных линий. С ликвидацией процесса раскряжевки на нижнем складе исчезли или стали исчезающе малы и ресурсы нижнескладских древесных отходов. Как только это произошло, практически все цеха по производству щепы на базе линий УПЩ были ликвидированы, а оборудование и линии

сданы на металлолом. Следует отметить, что даже в лучшие времена цеха УПЩ обычно были планово убыточны. Значительные затраты на выработку щепы были обусловлены факторами высокой сметной стоимости цехов и обслуживающих производств, значительной трудоемкостью и низкой производительностью оборудования. Как только исчез государственный план, программы субсидирования и компенсации затрат, так и цеха УПЩ и само производство щепы также в большинстве случаев было ликвидировано.

К чему привело повсеместное применение скандинавской технологии? Возможность получения качественных деловых сортиментов непосредственно на деляне оставляло как бы необязательным условие выполнения требований комплексной переработки древесного сырья. Вкупе с несовершенством законодательства, недостаточным уровнем контроля на лесосеках стало оставаться, по существу бросаться, не менее 35–40 % потенциальной полезной древесной биомассы.

Цель, задачи и материалы исследования

Цель – обоснование рациональной технологии производства топливной щепы с учетом возможного применения стационарных и мобильных рубительных машин в условиях реальных расстояний транспортировки сырья и готовой продукции. Цели исследования предусматривают решение определенных задач.

1. Анализ опыта производства и потребления топливной щепы за рубежом.
2. Определение себестоимости щепы при различных вариантах технологического процесса производства (стационарный и мобильный).

Материалы исследования основаны на анализе общедоступной информации, описании, сравнении, анализе и синтезе решений, применении математического аппарата, средств визуализации, графиков и таблиц.

Результаты и их обсуждение

В настоящее время большинство развитых стран пристальное внимание уделяет вопросам расширения сферы и объемов применения биотоплива,

в том числе ресурсов, производимых из древесины и древесных отходов. Страны Евросоюза производят большие объемы самых разнообразных лесоматериалов, являются основным участником международной торговли, имеют очень высокий уровень потребления. В 2016 г. на энергию из твердой биомассы (в основном древесины) приходилось около 7,5 % валового конечного потребления энергии в ЕС и около 44 % общего потребления возобновляемой энергии. На долю жилого сектора приходилось около 40 % потребления энергии из древесной биомассы, промышленности (особенно целлюлозно-бумажной) – около 31 %, а на крупные объекты энергетики и теплоснабжения – около 29 %. Рынок потребления щепы за рубежом интенсивно растет. Расходы на импорт топливной древесины в 2023 г. в ЕС превысили 1,8 млрд долл. Две основные категории топливной древесины, импортируемой Европой, – это древесные пеллеты и щепа. В настоящее время рынок пеллет испытывает серьезные колебания (особенно в период 2022–2023 гг.), связанные с нестабильной ситуацией с поставщиками и с ограничениями на поставку пеллет из Белоруссии и России (Markets for Wood Chips, 2024). Производители пеллет из России активно ищут новые рынки сбыта продукции, в том числе на рынках Азии (Корея и Япония) (Долматов, Гуляева, 2024).

Помимо высоких цен на углеводородные виды топлива, серьезным по значимости фактором, способствующим увеличению объемов потребления биомассы для производства электроэнергии и тепла, стали целевые показатели по возобновляемым источникам энергии, принятые каждым государством – членом ЕС в соответствии с Директивой по возобновляемым источникам энергии 2009 г. (Kaldellis, 2022), которая устанавливает общую цель в размере 20 % энергобаланса ЕС за счет возобновляемых источников к 2020 г. Жесткость мер и политики после 2020 г. все еще обсуждаются в институтах ЕС, но более высокие целевые показатели ЕС в области возобновляемых источников энергии и возможное смягчение правил, касающихся выбросов в результате землепользования, изменений в землепользовании и лесном хозяйстве, по-видимому, создадут больше стимулов для

роста объемов использования биомассы, особенно для производства тепла, где конкурирующие технологии возобновляемых источников энергии развиты не так хорошо.

Рассмотрим некоторые страны ЕС, которые придерживаются политики устойчивого и неистощительного лесопользования и для которых характерно использование всей древесной биомассы. В 2016 г. Дания производила 10 % своей электроэнергии и 31 % тепловой энергии из твердой древесной биомассы, которая сегодня все чаще заменяет уголь и газ в разветвленной сети теплоэлектроцентралей (ТЭЦ) страны и системах централизованного теплоснабжения. Древесные гранулы и щепа являются основным сырьем для крупных заводов, используются в частных котельных, системах централизованного теплоснабжения, ТЭЦ и на электростанциях. Однако в последние годы некоторые заводы перешли на пеллеты. Большая часть древесного топлива в виде щепы и древесных отходов поступает из внутренних источников страны, но пеллеты в основном импортируются. В 2016 г. Дания была вторым по величине импортером в ЕС после Великобритании. Государственная поддержка активного потребления возобновляемых источников энергии, включая биомассу, осуществляется главным образом в форме льготных тарифов и льгот по налогам на энергию и выбросы, которые очень высоки по сравнению с таковыми в других странах. Добровольные критерии устойчивости были введены промышленностью стран ЕС, производящей биомассу, в 2015 г. Они включают требования к легальной и устойчивой лесной продукции, стандарты направлены на то, чтобы избежать использования топлива и сырья, которое негативно влияет на количество и качество лесных ресурсов в долгосрочной перспективе.

Германия потребляет самое большое количество тепла из биомассы в ЕС и вырабатывает второе по величине количество электроэнергии. Однако в пропорциональном выражении биомасса менее значима, чем во многих других странах отчасти из-за наличия мощностей по генерации других возобновляемых источников энергии (ветер, солнце). Страна является крупным производителем

круглого леса и древесного топлива. Большая часть древесных отходов и порубочных остатков используется для производства энергии и потребляется на ТЭЦ. Древесная биомасса также используется в системах отопления домашних хозяйств и коммерческих зданий, где сырьем в основном является древесное топливо (топливные гранулы, брикеты). Германия также – крупнейший в ЕС производитель древесных гранул в основном для внутреннего использования. Программы Klimaschutzprogramm 2030 и Energiewende, действующие в Германии на протяжении многих лет, оказывают широкую поддержку развитию возобновляемых источников энергии: для производства древесной биомассы это включает льготные тарифы и аукционы на электроэнергию, поддержку ТЭЦ и гранты на системы отопления на биомассе.

В Австрии насчитывается 459 тепловых электростанций на биомассе и около 101 ТЭЦ на биомассе. Средняя мощность, основанная на энергосодержании используемого топлива, составляет 2,95 МВт на котельных на биомассе, на ТЭЦ – 21,03 МВт. Обычно ТЭЦ на биомассе устанавливаются вблизи лесозаготовительных компаний (большая потребность в тепле и большое количество отходов) или сетей централизованного теплоснабжения (большая потребность в тепле). В Австрии 25,2 млн м³ древесины перерабатывается в год деревообрабатывающей промышленностью, установками для обогрева на биомассе, ТЭЦ и индивидуальными маломасштабными системами отопления. Современное определение «древесная щепа», широко используемое в документах, программах развития и декларациях, в современных реалиях включает не только собственно щепу, но и биомассу в виде промышленных древесных отходов или побочных продуктов лесопиления, коры, древесной стружки, дров, гранул, брикетов и щелока (остатки от производства бумаги), т. е. всех ресурсов, которые используются для производства энергии. В правовом поле Евросоюза вопросы утилизации отходов находятся в плоскости интересов не только конкретного производителя, но и общества и государства в целом, а также активно стимулируется на различных

уровнях грантовой поддержкой, льготным налогообложением, субсидированием, мерами протекционизма (The U.S. forest..., 2005; The Challenge..., 2017; Can nature..., 2020). Переработка вторичных ресурсов и отходов является значимым, обсуждаемым обществом явлением.

Относительно лесных ресурсов, которыми располагает Россия, потенциально пригодных для производства топливной щепы, следует заметить, что они огромны. Наряду с собственно отходами лесозаготовки и деревопереработки, к таковым ресурсам следует отнести погибшие в результате пожаров или лесных вредителей древостои. В 2021 г. зафиксирована пройденная огнем лесная площадь более 1 млн га в Саха (Якутия) (Оценка горимости лесов..., 2024). Погибшие лесные массивы интенсивно заселяются вредителями леса и начинают представлять еще большую пожарную опасность (Долматов и др., 2024). Потенциально все эти лесные массивы можно и нужно перерабатывать. К сожалению, вопросы переработки этих ресурсов не только не являются предметом пристального внимания профильных ведомств, но даже общественные организации и движения обходят эту тему стороной.

Современное состояние технологии переработки лесосечных отходов на щепу позволяет организовать производство по двум принципиальным схемам. Согласно первой схеме, производится сбор отходов в местах их образования (на лесосеках, лесных складах), погрузка и транспортировка на центральный пункт переработки, тяготеющий к магистральным видам транспорта или находящийся непосредственно во дворе конечного потребителя. Вторая схема предусматривает переработку отходов на щепу непосредственно на месте их образования. При этом применяются мобильные рубительные или окорочно-рубительные машины. А доставка конечной продукции осуществляется большегрузными автомобилями – щеповозами. Большинство современных предприятий работает по второй схеме.

Заготовка и вывозка лесосечных отходов как самостоятельный технологический процесс должны предусматривать подбор и окучивание рассредоточенных на лесосеке отходов, подготовку их

в транспортабельное состояние, сбор подготовленных отходов и доставку их на погрузочную площадку или к лесовозному усу. Процесс вывозки отходов из лесосеки на нижний склад включает в себя погрузку доставленных отходов на лесовозный транспорт общего или специального назначения, транспортировку и разгрузку отходов на сырьевой площадке нижнего склада.

В условиях освоенных лесосек применение рубительных передвижных установок возможно по трем принципиальным технологическим схемам.

1. Передвижная рубительная установка, перемещаясь непосредственно по лесосеке, производит самоподбор имеющихся отходов и переработку их на щепу с одновременным сбором ее в накопительную емкость.

2. Передвижная рубительная установка перемещается по трелевочному волоку и осуществляет переработку на щепу заранее собранных и окученных возле волока лесосечных отходов.

3. Передвижная рубительная установка находится на погрузочной площадке (или в определенном месте лесовозного уса) и производит выработку щепы из лесосечных отходов, заготовка которых на лесосеке и подвозка на погрузочную площадку осуществляется по специальной технологии и отдельно от лесозаготовительных работ (вслед за их проведением или позднее).

Практическая реализация этих схем определяется в основном конструктивной компоновкой передвижных установок, которые должны включать как минимум энергосиловую установку, рубительный узел и накопительную емкость для сбора вырабатываемой щепы. Для работы в условиях лесосеки рубительная передвижная установка может быть представлена в двух вариантах исполнения:

- рубительная машина размещается на базовом самоходном шасси, например на тракторе, а в сцепке с ним прицеп-щеповоз или прицеп с контейнерами для сбора вырабатываемой щепы;
- рубительная машина находится в сцепке с самоходным шасси, а на нем размещается емкость (кузов или контейнеры) для сбора щепы.

Оба варианта рубительной передвижной установки представляют собой поезд, состоящий из двух машин: трактор – прицеп или трактор – при-

цепная рубительная машина. Естественно, что из-за захламленности и неудовлетворительных почвенно-грунтовых условий на освоенных лесосечных массивах мобильность такого поезда будет крайне затруднена, а в большинстве случаев невозможна. Более того, перемещение такого поезда по освоенной лесосеке неприемлемо по лесохозяйственным требованиям, так как при этом не обеспечивается сохранность почвенного покрова и подроста. Поэтому технологическая схема передвижной установки в режиме самоподбора отходов на лесосеке и одновременной переработки их на щепу, хотя и требует минимум машин, достаточно труднореализуема. Работа передвижной установки на трелевочном волоке и на погрузочной площадке или лесовозном усе более предпочтительна для использования в существующей практике лесопользования.

Конструкции рубительных передвижных установок для работы в условиях нижнего склада и освоенной лесосеки могут иметь различное исполнение. Однако для сопоставимости рассматриваемых вариантов переработки отходов лесозаготовок в расчетах должны быть приняты равнозначные условия: один режим работы (одинаковая сменность и число дней работы в году), одинаковая техническая производительность, равные или близкие значения затрат по содержанию и эксплуатации установок, а также один тип грузотранспортных средств для подбора и вывозки вырабатываемой щепы. Соблюдение этих условий позволит выявить технико-экономические показатели не самих применяемых установок, а технологических вариантов их применения. Лесозаготовительная отрасль пока не располагает отечественной универсальной моделью передвижной установки, которую можно было бы применять как на нижнем складе, так и на лесосеке.

В настоящее время отходы, образующиеся на нижних складах и на лесосеках, рассматриваются отдельно, поскольку образуются они на различных фазах производства, имеют различную степень концентрации и неодинаковую размерно-качественную характеристику. Поэтому и освоение этих двух видов отходов обычно предусматривают на основе двух отдельных технологических

процессов: один на нижнем складе, другой на лесосеке. Для освоения отходов, образующихся на нижних складах, предлагается использовать стационарное оборудование, а для переработки лесосечных отходов – передвижные установки. Область применения стационарного оборудования (например, традиционных цехов серии УПЩ-6, которые были широко представлены в СССР) в настоящее время определена достаточно обоснованно – нижние склады с грузооборотом свыше 150 тыс. м³. Отходы же, образующиеся на нижних складах с меньшим грузооборотом, расцениваются как рассредоточенные, т.е. требующие для их освоения больших затрат по сбору и доставке на центральные пункты переработки. Такая же оценка распространяется и на лесосечные отходы. Исходя из этой общей оценки, все отходы, образующиеся на нижнем складе и в лесу, следует рассматривать как единые ресурсы сырья. И технология освоения их должна быть одна, с применением одного вида оборудования, с общей организацией работ по переработке отходов на щепу и реализацией ее потребителю. Этим условиям более отвечает технология применения рубительных передвижных установок, которая позволяет с наибольшей эффективностью освоить не только нижнескладские, но и лесосечные отходы. Технология заготовки последних может быть такой же, как и в варианте применения передвижной рубительной установки на лесосеке.

В условиях лесосеки работа рубительной передвижной установки определяется следующими факторами:

- наличием окученного или подвезенного сырья в месте работы или стоянки передвижной установки;
- расстоянием вывозки щепы;
- сезонностью работы.

Рассматривая преимущества работы передвижной установки на нижнем складе по сравнению с работой ее в условиях лесосеки, следует также учитывать факторы надежности работы систем машин, применяемых в обоих вариантах. В условиях нижнего склада режим работы установки определяется в основном лишь наличием транспортных щепосборочных единиц (щеповозов или

полуприцепов), причем объем грузовой работы их значительно меньше по сравнению с объемом работы в условиях лесосеки. Следовательно, надежность и бесперебойность работы передвижной установки на нижнем складе обеспечивается лучше, чем на лесосеке. Таким образом, на первый взгляд, применение рубительных передвижных установок более оправдано на нижних складах. Технология их работы должна предусматривать, во-первых, переработку нижнескладских отходов и, во-вторых, переработку лесосечных отходов, заготовка и доставка которых должна осуществляться независимо от основного лесозаготовительного процесса и режима работы передвижной установки на нижнем складе.

Однако для того чтобы измельчать древесные ресурсы в условиях нижнего склада, требуется либо строительство стационарных цехов, что весьма затруднительно из-за дороговизны стационарного оборудования, отсутствия строительной базы, соответствующих кадров, либо установка передвижных машин, что дешевле. Но в том и другом случае требуется доставка древесины, подлежащей измельчению, на нижний склад. Для доставки таких ресурсов преимущественно применяется автотранспорт. По данным Р. Н. Ковалева и др. (2022), автомобильный транспорт остается самым выгодным видом транспорта при условии протяженности пути до 500 км. Анализ производственной деятельности лесозаготовительных предприятий Красноярского края позволяет сделать вывод о значительных (от 100 до 250 км) расстояниях транспортировки лесоматериалов автотранспортом. Это связано с общим истощением лесосырьевых баз из-за их интенсивного освоения, пожаров, поражений вредителями леса.

Производительность автомобилей при прочих равных условиях (марка и модель, расстояние транспортировки груза, средние скорости движения и дорожные условия), с одной стороны, определяется их грузоподъемностью, с другой – грузовой вместимостью. Транспортные показатели перевозимого груза определяют режим перевозки, перегрузки и хранения, объемно-массовые показатели, а также требования к техническим средствам при выполнении грузовых операций. Проектирование

автотранспорта ведется исходя из средних массогабаритных показателей перевозимых грузов. Практически все виды лесоматериалов (за исключением штучной и плитной продукции), как и уголь, руда, гравий, щебень, относят к навалочным грузам. Во многом за основополагающий показатель, определяющий грузовую вместимость автотранспорта, можно принимать плотность транспортируемых материалов. Показатели объемной плотности грузов варьируются в диапазонах от 800–1100 кг/м³ (шлак, земля) до 1800–2200 кг/м³ (глина, камень). Лесные материалы в виде бревен занимают промежуточное положение с показателями плотности 900–1200 кг/м³.

При перевозке древесины в виде щепы, а также при транспорте лесосечных отходов показатели плотности существенно ниже. В работе Е. А. Леонова и др. (2008) проводилось экспериментальное исследование показателей полнодревесности отходов лесозаготовок. Установлено, что величина показателя зависит от породы, способа укладки и уплотнения, находится в диапазоне 56–100 кг/м³. То есть это минимум в три раза меньше, чем насыпная плотность щепы (300–340 кг/м³) и до 10 раз меньше плотности стволовой древесины.

Серьезные отличия плотности материалов требуют разработки и применения специализированных видов транспорта. Применительно к щепе вопрос транспортировки решается за счет использования автопоездов с полуприцепами-щеповозами существенной (до 60 м³) грузовой вместимости. Применение таких щеповозов позволяет перевозить до 30 т полезного груза, что полностью соответствует тягово-динамическим показателям большинства тягачей и величинам допустимых осевых нагрузок лесовозных дорог. Транспортировка же лесосечных отходов из-за их чрезвычайно низкой плотности является малоэффективной, поскольку грузоместимость автомобиля будет использована полностью, а грузоподъемность – не более чем на 25–30 %. Кардинальное увеличение объема грузового пространства невозможно по соображениям максимально допустимых габаритных размеров транспортного средства, его маневренности.

Работы по повышению полнодревесности лесосечных отходов ведутся преимущественно в на-

правлении разработки машин по их уплотнению (Технологии производства..., 2021). Для решения задачи сбора и пакетирования лесосечных отходов с возможностью формирования удобных полнодревесных транспортных пакетов за рубежом разработаны так называемые харвестеры древесной биомассы. Это машины серии JD 1490D, FiberPac 370B, Valmet WoodPac, Flexus Balasystem AB (Матросов, Быковский, 2014). Оборудование пока не получило широкого распространения. Причина этого – высокая цена как самого оборудования, так и стоимости его содержания. В РФ подобные машины не выпускаются и не применяются.

Общая ситуация, связанная с санкционным давлением на экономику России и лесной сектор в частности, заставляет ориентироваться на оборудование, выпускаемое на территории РФ и дружественных стран. Прежде всего это линейка техники Амкодор, выпускаемая в Белоруссии. В работе А. В. Ледницкого (2013) проводилось обоснование эффективного комплекта машин, предназначенного для измельчения низкокачественной древесины, отходов лесозаготовок на топливную щепу. Установлено, что для этого могут эффективно применяться как мобильные, так и стационарные рубильные машины с дисковым и барабанным механизмом резания. Окончательное решение о формировании и приобретении той или иной системы машин должно приниматься с учетом конкретных природно-производственных условий исходя из разработки соответствующего технико-экономического обоснования.

Рассмотрим два варианта (стационарный и мобильный) переработки лесосечных отходов, низкокачественной и тонкомерной древесины на топливную щепу. Принимаем условие полной лесосводки насаждения (например, условия разработки лесосек с погибшими древостоями (пожары, деятельность вредителей леса)). При работе со стационарным размещением рубильных машин на нижнем складе принятая технология работ выглядит следующим образом. Вальщик бензопилой производит валку деревьев на пасеке. Затем на пасеке бензопилами осуществляется обрезка сучьев и раскряжевка хлыстов на сортименты (балансовое долготье). Форвардер Амкодор 2661 выполняет захват

сортиментов манипулятором, набор пачки и трелевку на погрузочный пункт. Также форвардер захватывает и перевозит на погрузочную площадку лесосечные отходы. Для перевозки балансового долготья и лесосечных отходов используется автопоезд в составе тягача КамАЗ 53228 и прицепа. Тягач оснащен гидроманипулятором с клещевым захватом. Для перевозки лесосечных отходов коники прицепа расширены и обшиты металлической сеткой, исключающей выпадение лесосечных отходов на дорогу. Водитель лесовозного автопоезда загружает КамАЗ 53228 балансовым долготьем, а прицеп грузит лесосечными отходами, уплотняя отходы путем прижима клещевым захватом. Такой способ погрузки позволит достигнуть грузоподъемности до 12–15 м³ и получить общую полндревесность перевозимого груза (сортименты плюс лесосечные отходы), учитывая условие грузоподъемности шасси тягача и прицепа $12 \dots 15 / 30 = 0,4 \dots 0,5$. Приехав на нижний склад, водитель тягача разгружает сортименты в штабель, а отходы – в кучу хранения. Для обеспечения работы и загрузки сырьем стационарно расположенного участка измельчения древесного сырья используется колесный лесоштабелер Амкодор 352 с клещевым захватом. Амкодор 352 клещевым захватом захватывает из штабеля пачку балансового долготья и погружает пачку в питатель-разобщик ЛТ-79. Питатель поштучно выдает бревна на лесотранспортер, который подает сырье на стационарную рубительную машину МРГ-30, где лесоматериалы перерабатываются на щепу. Лесосечные отходы подаются совместными усилиями лесоштабелера Амкодор 352, а также вручную рабочими. Полученная щепа перемещается пневмотранспортом на склад кучевого хранения.

Мобильный вариант. Вальщик бензопилой производит валку деревьев на пасеке. Затем на пасеке бензопилами производится обрезка сучьев и раскряжевка хлыстов на сортименты (балансовое долготье). Форвардер Амкодор 2661 производит захват сортиментов манипулятором, набор пачки и трелевку на погрузочный пункт. Также форвардер захватывает и перевозит на погрузочную площадку лесосечные отходы. На погрузочной площадке

установлена мобильная рубительная машина Амкодор 2904. Самоходная рубительная машина имеет существенные преимущества по сравнению с прицепной, поэтому мы будем ориентироваться на современные достижения промышленности в области оборудования для измельчения древесного сырья (Федоренчик, 2014). Оператор Амкодор 2904 манипулятором поштучно захватывает сырье, перемещая его в загрузочный патрон рубительной машины. Сырье измельчается, щепа выбрасывается в кучу хранения. Для перевозки щепы на нижний склад используются автопоезд из тягача МАЗ 552935 и прицепа. Для загрузки щепы применяется погрузчик Амкодор 352 с ковшом. Щеповозами щепа отгружается потребителю. Принятый объем работ первого и второго вариантов – 250 тыс. м³ в год, 250 рабочих дней в году, режим работы односменный.

В таблице представлены результаты расчета себестоимости щепы по вариантам (для расстояния транспортировки 80 км).

Зависимость себестоимости щепы от расстояния транспортировки показана в виде графиков и линий тренда на рис. 1.

На рис. 2 показан график себестоимости щепы в зависимости от объема переработки древесины. Расчетные данные приняты для расстояния транспортировки 70 км и варьировании объема переработки от 5 до 200 тыс. м³.

Из графиков прослеживается линейный рост себестоимости при увеличении расстояния транспортировки сырья либо готовой щепы. При расстояниях транспортировки до 70 км более выгодным является вариант переработки древесины стационарными комплексами, а при увеличении расстояния свыше 70 км – вариант применения мобильных рубительных машин. Выбор варианта зависит от таких факторов, как расстояние вывозки и годовой объем работ.

Полученные расчетные данные достаточно близки к показателям экономической оценки эффективности производства топливной щепы из дровяной древесины и отходов лесозаготовок из работы А. В. Ледницкого (2013). Автором были получены величины от 11,5 до 15,8 евро за 1 м³, что в ценах 2025 г. составляет 1207–1660 руб. м³.

Расчет себестоимости щепы
Calculation of the cost price of wood chips

Статьи затрат Cost items	Затраты по вариантам			
	Стационарный Costs by Options		Мобильный Mobile	
	На 1 м ³ щепы, руб. Per 1 m ³ of wood chips, RUB.	Сумма, тыс. руб. Amount, thousand rubles.	На 1 м ³ щепы, руб. Per 1 m ³ of wood chips, RUB.	Сумма, тыс. руб. Amount, thousand rubles.
Плата за древесину на корню Payment for standing timber	35,00	25 000,00	35,00	25 000,00
Расходы на оплату труда Labor expenses	563,08	402 201,81	515,05	367 895,84
Отчисления на соц. нужды и страхование Social security and insurance contributions	186,38	133 128,80	170,48	121 773,52
Топливо и смазочные материалы Fuel and lubricants	316,51	226 081,70	356,73	254 803,60
Вспомогательные и быстроизнашиваемые материалы Auxiliary and quickly wearing materials	11,55	8 252,23	49,04	12 260,64
Расходы на спецодежду и СИЗ Workwear and PPE expenses	2,45	1 747,13	2,32	1 657,56
Амортизация ОПФ Depreciation of fixed assets	209,44	149 600,26	209,86	149 900,31
Цеховые расходы Shop expenses	9,19	6 562,49	0,00	0,00
Электроэнергия Electricity	4,26	3 043,95	0,00	0,00
Техническое обслуживание и ремонт Maintenance and repair	46,87	33 479,34	45,28	32 340,43
Прочие расходы (5 %) Other expenses (5 %)	66,81	47 724,56	65,84	47 031,59
Итого себестоимость щепы Total cost of chips	1451,55	1 036 822,26	1417,73	1 012 663,49

По графику рис. 1 эти величины примерно соответствуют расстоянию транспортировки 60–100 км.

Расчетные данные автор работы (Ледницкий, 2013) получал для условий Белоруссии. В качестве выводов указывалось, что организовывать производство топливной щепы выгодно при годовом объеме производства не менее 7 тыс. пл. м³. Леса Белоруссии относительно неплохо насыщены дорогами. В России же с дорогами лесного фонда ситуация не выдерживает никакой критики. Плотность лесных дорог в Российской Федерации и Красноярском крае составляет в среднем 1,46 и 1,2 км/тыс. га лесной площади соответственно (Долматов, Макунина, 2023), что в несколько раз меньше, чем показатели ведущих стран, в которых

лесозаготовительная и лесоперерабатывающая промышленность является весомой частью экономики. Неразвитая сеть дорог в России отрицательно влияет на себестоимость готовой продукции, сырья и полуфабрикатов, делает нерентабельным переработку вторичных ресурсов и низкокачественной древесины.

Текущую ситуацию на рынке топливной и технологической щепы, например Красноярского края, нельзя назвать нормальной. Характерной особенностью лесозаготовительного процесса в Сибири, и в частности в Красноярском крае, является ориентация на заготовку качественной стволовой древесины преимущественно хвойных пород.

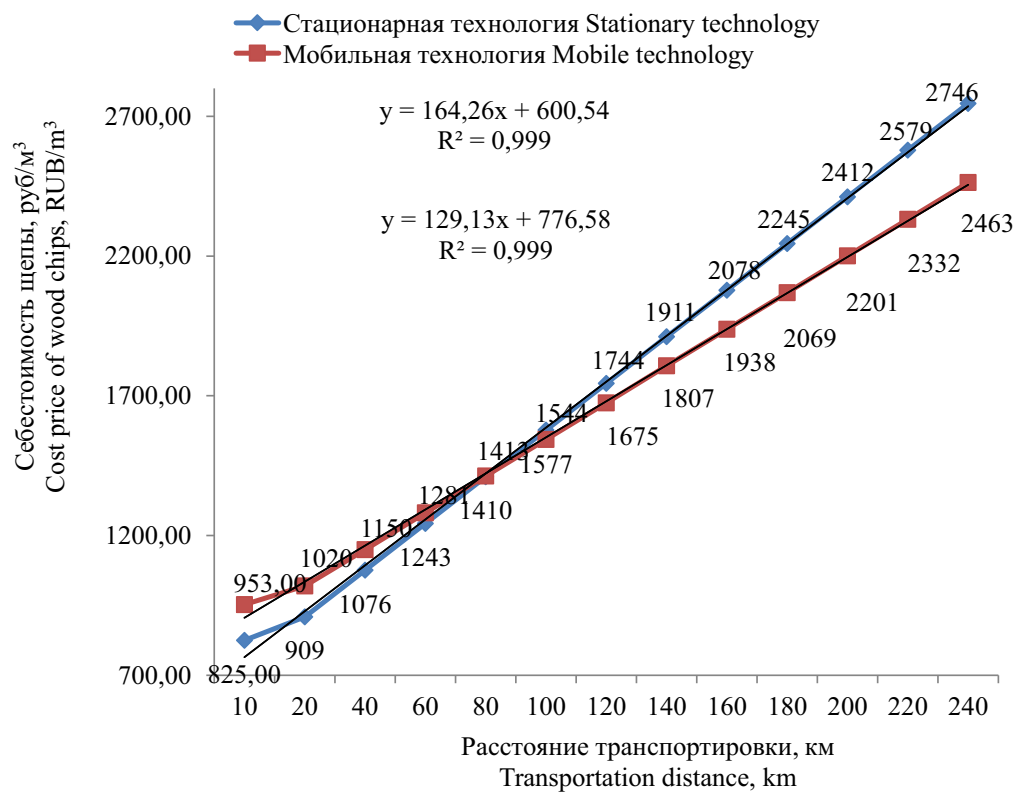


Рис. 1. Зависимость себестоимости щепы от расстояния транспортировки

Fig. 1. Dependence of the cost price of chips on the transportation distance

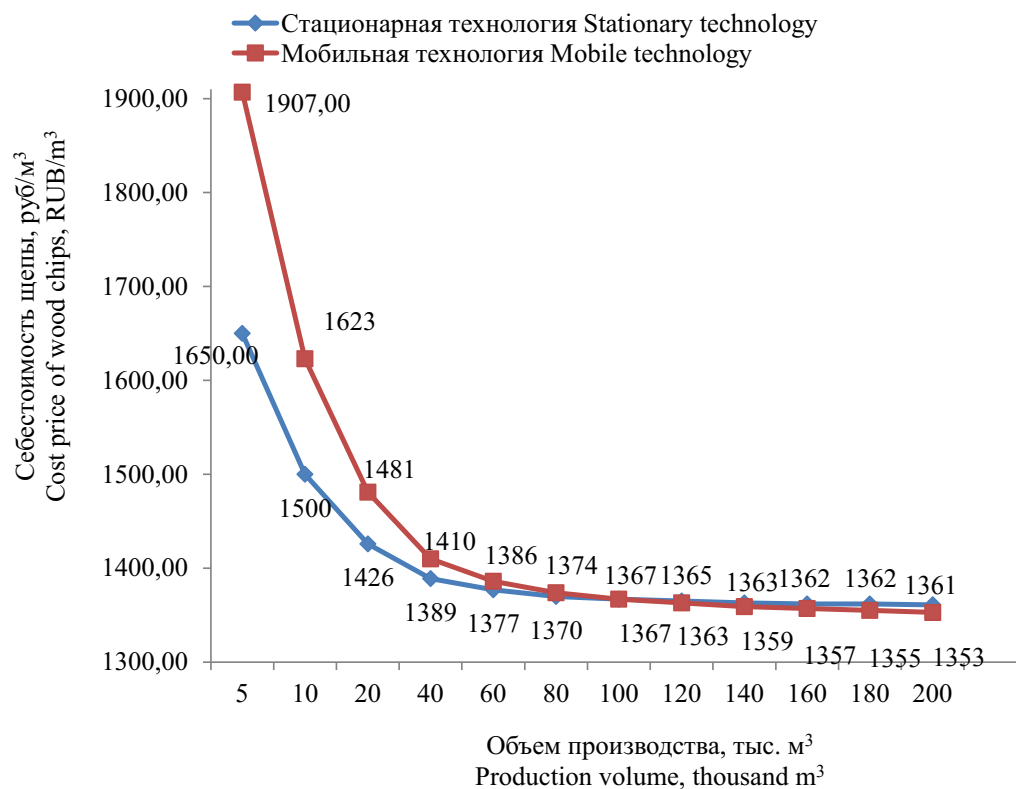


Рис. 2. Зависимость себестоимости щепы от объема производства

Fig. 2. Dependence of the cost price of chips on the volume of production

Однако, помимо стволовой древесины, в процессе заготовки и первичной переработки древесины образуются существенные объемы отходов (в масштабах страны это не менее 68–76 млн м³ древесных отходов и вторичного сырья (Макунина, Долматов, 2023; Пряничникова и др., 2022). Самый простой путь их утилизации – это сжигание или захоронение. Однако 14 июля 2022 г. был принят Федеральный закон (238-ФЗ), согласно требованиям которого вторичные ресурсы нельзя захоронять на полигонах, а следует пускать в промышленную переработку. И хотя действие этого закона начинается только с января 2030 г., но уже сейчас большинство предприятий, занятых заготовкой и переработкой лесоматериалов, озадачены вопросом вовлечения в переработку вторичных древесных ресурсов. Красноярский край, не имеющий своего ЦБК или крупных плитных производств, вынужден транспортировать щепу в Иркутскую область для переработки на Братском и Усть-Илимских ЦБК и ЦКК. При этом расстояния перевозки, в том числе автотранспортом, достигают 250–300 км. В этих условиях говорить о рентабельности или получении прибыли достаточно сложно, производители щепы работают практически с нулевой рентабельностью.

Помимо чисто экономических проблем, связанных с недостаточным вовлечением в промышленный оборот и энергетику древесного сырья, существуют серьезные негативные экологические последствия, связанные с использованием нефтяной и угольной теплоэлектрогенерации. В Сибири сосредоточено более половины всех запасов леса России. Казалось бы, логичным шагом по примеру стран Евросоюза будет направление активного вовлечения древесных ресурсов для тепловой генерации, потребность в которой огромна. Однако, если обратиться к данным статистики ЕМИСС (ЕМИСС, 2025) (рис. 3) по объемам потребления ресурсов для электростанций и котельных, окажется, что Сибирь практически не газифицирована и огромный в 65,9 млн т ежегодный расход угля образует рекордные объемы выбросов вредных веществ в атмосферу, практически перманентный режим «черного неба». Например, в 2023 г. в Красноярске режим неблагоприятных метеорологических условий (НМУ) объявляли десять раз, а общее число дней под «черным небом» составило 37 (Красноярцы..., 2025), что превышает 10 % календарного года.

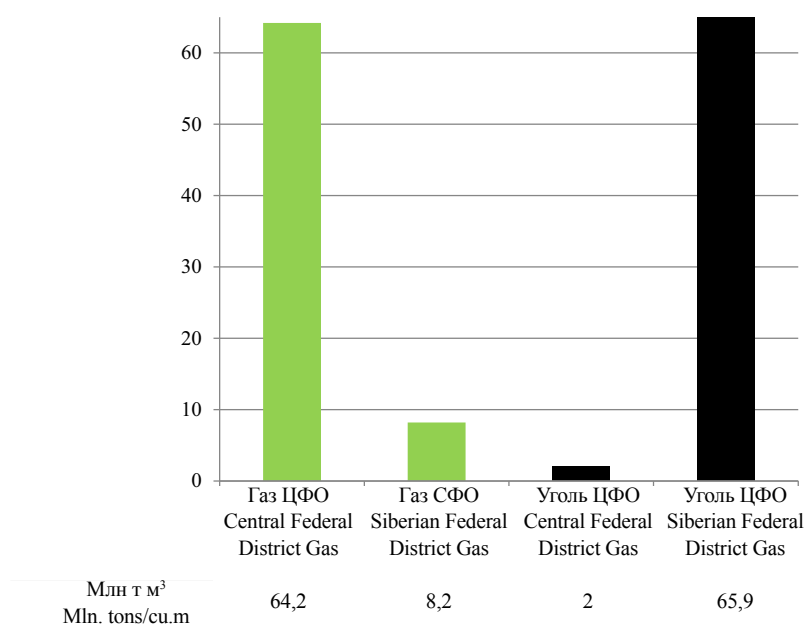


Рис. 3. Расход топлива для электростанций и котельных для Центрального (ЦФО) и Сибирского федеральных (СФО) округов (данные за 2023 г.)

Fig. 3. Fuel consumption for power plants and boiler houses for the Central (CFD) and Siberian Federal Districts (SFD) (data for 2023)

Исходя из данных по потреблению углеводородов на нужды электро- и тепловой генерации, видим, что при наличии соответствующей политической воли, общественного экологического надзора, производственно-технологического обеспечения эти 65,9 млн т угля могут полностью или частично быть замещены древесным биотопливом. В СФО уголь продолжает оставаться основным источником тепла для котельных, что негативно сказывается на экологической ситуации в регионе. Более половины населения округа проживает в зонах с высоким уровнем загрязнения воздуха, особенно в крупных городах, таких как Красноярск, Томск, Новосибирск, Омск, Кемерово и др. (Золотарев, 2005). Обосновано (Биоэнергетическая база..., 2023; Мехренцев, Корж, 2019), что при строительстве объектов тепловой генерации на древесном топливе даже в регионе, где имеется магистральный газ (Урал), обеспечивается достаточная рентабельность технологии. Что говорить о регионах, где избыток лесных ресурсов (Иркутская область, Красноярский край), но магистрального газа нет и не предвидится? В этих условиях переход на древесное биотопливо более чем очевиден.

Выводы

1. В рамках комплексного использования древесины технология переработки древесных отходов мобильными рубительными машинами и вывоз однородных материалов в виде щепы – это универсальный способ решения проблем утилизации отходов.

2. При переработке древесины в комплексе, в том числе ствольной низкокачественной, балансового долготья, возникает проблема обоснованного выбора экономически эффективного технологического решения. Рассматривая стартовые условия

двух конкурирующих вариантов, мы приходим к заключению, что в каких-то условиях будет выигрышным вариант переработки древесины мобильными комплексами, а в других – вариант стационарной технологии, подразумевающей доставку лесовозами балансового долготья до места стационарной переработки, как правило, это нижний склад.

3. Выбор варианта зависит от таких факторов, как расстояние вывозки и годовой объем работ. Устойчивой тенденцией является то, что с увеличением расстояния транспортировки свыше 70 км более выгодным становится вариант применения мобильных рубительных машин на лесосеке и доставки щепы автомобилями-щеповозами. Увеличение годового объема переработки от 80 тыс. м³ и более приводит к существенному снижению уровня себестоимости готовой щепы.

4. Перерабатывать древесное сырье на щепу в небольших объемах (5–10 тыс. м³ в год) фактически невыгодно. Причина этого – дороговизна оборудования и значительные текущие затраты по его содержанию.

5. Решение вопроса о возможности вовлечения в производство низкокачественной древесины и древесных отходов следует вести в тесной взаимосвязи нескольких нарративов. Прежде всего это экономика производства, вопросы себестоимости и конкурирующих вариантов утилизации. В тесном контакте с экономикой потребления ресурсов находится экология среды обитания человека, принципы и тренды биоэнергетики и комплексной переработки ресурсов. К третьей, но не менее важной, степени следует отнести сохранение и приумножение объектов биосферы и лесов в частности. Нерациональное лесопользование приводит к росту числа лесных пожаров, поражению лесов вредителями.

Список источников

- Биоэнергетическая база сельских территорий в контексте стратегии развития лесного комплекса (на примере Свердловской области) / А. В. Мехренцев, А. А. Добрачев, А. Ф. Уразова, Г. В. Кашиников // Леса России и хозяйство в них. 2023. № 1(84). С. 81–87. DOI: 10.51318/FRET.2023.47.14.009
- Долматов С. Н., Колесников П. Г., Пережильин А. И. Освоение низкокачественной поврежденной древесины и древесных отходов в Красноярском крае // Сибирский лесной журнал. 2024. № 6. С. 88–100. DOI: 10.15372/SJFS20240611

- Долматов С. Н., Гуляева К. А. Перспективы экспорта древесных пеллет из России в Японию и Южную Корею в условиях международных санкций // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2024. № 9. С. 447–453. DOI: 10.24412/2071-6168-2024-9-447-448
- Долматов С. Н., Макунина Я. С. Плотность сети лесных дорог как фактор устойчивого лесопользования на примере лесов Красноярского края // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер.: Лес. Экология. Природопользование. 2023. № 3(59). С. 87–97. DOI: 10.25686/2306-2827.2023.3.87
- ЕМИСС. Расход условного топлива на электростанции и котельные, по видам топлива // ЕМИСС. Государственная статистика : [сайт]. URL: <https://fedstat.ru/indicator/62004> (дата обращения: 25.02.2025).
- Золотарев И. И. Экологические проблемы Сибирского федерального округа // Гео-Сибирь. 2005. Т. 1, № 2. С. 42–48.
- Ковалев Р. Н., Долматов С. Н., Колесников П. Г. Экономическое обоснование вида транспорта при логистике лесоматериалов // Системы. Методы. Технологии. 2022. № 1(53). С. 129–137. DOI: 10.18324/2077-5415-2022-1-129-137
- Красноярцы провели еще одну зиму под «черным небом»: число дней в режиме НМУ удвоилось за четыре года // Babr24.com : [сайт]. URL: <https://babr24.com/?IDE=257086> (дата обращения: 20.02.2025).
- Ледницкий А. В. Сравнительный анализ систем машин для производства топливной щепы // Вестник Московского государственного университета леса – Лесной вестник. 2013. № 1. С. 94–98.
- Леонов Е. А., Федоренчик А. С., Ледницкий А. В. Определение коэффициентов полнодревесности отходов лесозаготовок // Труды Белорусского государственного технологического университета. Сер. 2: Лесная и деревообрабатывающая промышленность. 2008. № 2. С. 57–60.
- Макунина Я. С., Долматов С. Н. Потенциальные и реальные объемы ресурсов СФО для производства древесно-минеральных композитов // Лесозексплуатация и комплексное использование древесины : сб. ст. Всерос. науч.-практ. конф., Красноярск, 24 марта 2023 года / Сиб. гос. ун-т науки и технологий им. акад. М. Ф. Решетнева. Красноярск, 2023. С. 159–167.
- Матросов А. В., Быковский М. А. Современные машины и оборудование для пакетирования лесосечных отходов и тонкомерной древесины // Вестник Московского государственного университета леса – Лесной вестник. 2014. Т. 18, № 2-S. С. 56–61.
- Мехренцев А. В., Корж М. А. Теплогенерация на основе древесного топлива как база для повышения энергоэффективности в лесопромышленном производстве // Леса России и хозяйство в них. 2019. № 3 (70). С. 78–86.
- Оценка горимости лесов в Российской Федерации / Л. Е. Кузнецов, А. М. Ерицов, И. М. Секерин [и др.] // Леса России и хозяйство в них. 2024. № 3 (90). С. 93–101. DOI: 10.51318/FRET.2024.31.73.008
- Пряничникова А. В., Звягинцев В. Ю., Долматов С. Н. Актуальность мониторинга и аудита невостробованных запасов древесного сырья // Научное творчество молодежи – лесному комплексу России : матер. XVIII Всерос. (нац.) науч.-техн. конф., Екатеринбург, 04–15 апреля 2022 года. Екатеринбург : Урал. гос. лесотехн. ун-т, 2022. С. 206–210.
- Технологии производства топливной щепы из лесосечных отходов при заготовке древесины 250–300 тыс. пл. м³ в год / Д. А. Ильюшенко, А. Р. Бирман, Б. М. Локиштанов [и др.] // Системы. Методы. Технологии. 2021. № 2 (50). С. 175–184. DOI: 10.18324/2077-5415-2021-2-175-184
- Федоренчик А. С. Расчет производительности самоходных отечественных рубильных машин // Труды БГТУ. № 2. Лесная и деревообрабатывающая промышленность. 2014. № 2 (166). С. 13–16.
- Can nature conservation and wood production be reconciled in managed forests? / A review of driving factors for integrated forest management in Europe / F. Aggestam, A. Konczal, M. Sotirov [et al.] // Journal of Environmental Management. 2020. № 268. 110670. URL: <https://www.researchgate.net> (accessed 25.02.2025).

- Kaldellis John K.* Despoina Boulogiorgou, 2.02 – Wind Energy Contribution in the Planet Energy Balance and Future Prospects / Editor(s) : Trevor M. Letcher, Comprehensive Renewable Energy (Second Edition). Elsevier, 2022. P. 13–44.
- Markets for Wood Chips in Northwestern Europe // USDA. ForeignAgricultural Service : [website]. URL: https://apps.fas.usda.gov/newgainapi/api/Report/DownloadReportByFileName?fileName=Markets%20for%20Wood%20Chips%20in%20Northwestern%20Europe_The%20Hague_Denmark_DA2024-0004.pdf (accessed 25.02.2025).
- The Challenge of Financing the Implementation of Natura 2000 – Empirical Evidence from Six European Union Member States / *M. Geitzenauer, M. Blondet, J. de Koning* [et al.] // Forest Policy and Economics. 2017. № 82. P. 3–13.
- The U. S. forest sector in 2030 : Markets and competitors / *J. Turner, J. Buongiorno, Sh. Zhu, J. Prestemon* // Forest Products Journal. 2005. № 55. Url: <https://www.researchgate.net> (accessed 25.02.2025).

References

- Assessment of forest burning in the Russian Federation / *L. E. Kuznetsov, A.M. Yeritsov, I. M. Sekerin* [et al.] // Forests of Russia and economy in them. 2024. № 3 (90). P. 93–101. DOI: 10.51318/FRET.2024.31.73.008 (In Russ.)
- Bioenergetic base of rural territories in the context of the strategy for the development of the forest complex (on the example of the Sverdlovsk region) / *A. V. Mehrentsev, A. A. Dobrachev, A. F. Urazova, G. V. Kashnikov* // Forests of Russia and economy in them. 2023. № 1 (84). P. 81–87. DOI: 10.51318/FRET.2023.47.14.009. (In Russ.)
- Can nature conservation and wood production be reconciled in managed forests? / A review of driving factors for integrated forest management in Europe / *F. Aggestam, A. Konczal, M. Sotirov* [et al.] // Journal of Environmental Management. 2020. № 268. 110670. URL: <https://www.researchgate.net> (accessed 25.02.2025).
- Dolmatov S. N., Kolesnikov P. G., Perestilin A. I.* Development of low-quality damaged wood and wood waste in the Krasnoyarsk Territory // Siberian Forest Journal. 2024. № 6. P. 88–100. DOI: 10.15372/SJFS20240611 (In Russ.)
- Dolmatov S. N., Gulyaeva K. A.* Prospects for the export of wood pellets from Russia to Japan and South Korea in the context of international sanctions // Proceedings of Tula State University. Technical sciences. 2024. № 9. P. 447–453. DOI: 10.24412/2071-6168-2024-9-447-448 (In Russ.)
- Dolmatov S. N., Makunina Ya. S.* Density of the forest road network as a factor of sustainable forest management on the example of forests of the Krasnoyarsk Territory // Bulletin of the Volga State Technological University. Family: Forest. Ecology. Environmental management. 2023. № 3 (59). P. 87–97. DOI: 10.25686/2306-2827.2023.3.87 (In Russ.)
- EMISS. Consumption of conventional fuel for power plants and boilers, by type of fuel // EMISS. Steele Statistica : [website]. URL: <https://fedstat.ru/indicator/62004> (accessed 25.02.2025).
- Fedorenchik A. S.* Calculation of productivity of self-propelled domestic chopping machines // Proceedings of BSTU. № 2. Forestry and woodworking industry. 2014. № 2 (166). P. 13–16. (In Russ.)
- Kaldellis John K.* Despoina Boulogiorgou, 2.02 – Wind Energy Contribution in the Planet Energy Balance and Future Prospects / Editor(s) : Trevor M. Letcher, Comprehensive Renewable Energy (Second Edition). Elsevier, 2022. P. 13–44.
- Kovalev R. N., Dolmatov S. N., Kolesnikov P. G.* Economic development of a type of transport in timber logistics // Systems. Methods. Technologies. 2022. № 1 (53). P. 129–137. DOI: 10.18324/2077-5415-2022-1-129-137 (In Russ.)

- Krasnoyarsk residents spent another winter under the “black sky”: the number of days in the NMU regime doubled in four years // Babr24.com : [website]. URL: <https://babr24.com/?IDE=257086> (accessed 20.02.2025).
- Lednitskiy A. V.* Comparative analysis of systems of machines for the production of fuel chips // Bulletin of the Moscow State University of Forests – Lesnoy Vestnik. 2013. № 1. P. 94–98. (In Russ.)
- Leonov E. A., Fedorenchik A. S., Lednitskiy A. V.* Determination of the coefficients of full-woodness of logging waste // Proceedings of the Belarusian State Technological University. Series 2. Forestry and wood-processing industry. 2008. № 2. P. 57–60. (In Russ.)
- Makunina Ya. S., Dolmatov S. N.* Potential and real volumes of resources of the Siberian Federal District for the production of wood-mineral composites // Forest exploitation and integrated use of wood : collection of articles of the All-Russian Scientific and Practical Conference, Krasnoyarsk, March 24, 2023 / Siberian State University of Science and Technology named after Academician M. F. Reshetnev. Krasnoyarsk, 2023. P. 159–167. (In Russ.)
- Markets for Wood Chips in Northwestern Europe // USDA. ForeignAgricultural Service : [website]. URL: https://apps.fas.usda.gov/newgainapi/api/Report/DownloadReportByFileName?fileName=Markets %20for %20Wood %20Chips %20in %20Northwestern %20Europe_The %20Hague_Denmark_DA2024-0004.pdf (accessed 25.02.2025).
- Matrosov A. V., Bykovsky M. A.* Modern machines and equipment for packing logging waste and fine-grained wood // Bulletin of the Moscow State University of Forests – Lesnoy Vestnik. 2014. Vol. 18, № 2-S. P. 56–61. (In Russ.)
- Mehrentsev A. V., Korzh M. A.* Heat generation based on wood-based fuels as a base for improving energy efficiency in the timber industry // Forests of Russia and economy in them. 2019. № 3 (70). P. 78–86. (In Russ.)
- Pryanichnikova A. V., Zvyagintsev V. Yu., Dolmatov S. N.* The relevance of monitoring and auditing unclaimed stocks of wood raw materials // Scientific creativity of youth for the Russian Forest complex : proceedings of the XVIII All-Russian (National) Scientific and Technical Conference, Yekaterinburg, April 04-15, 2022. Yekaterinburg : Ural State Forest Engineering University, 2022. P. 206–210. (In Russ.)
- Technologies for the production of fuel chips from logging waste during wood harvesting of 250–300 thousand square meters.m3 per year / *D. A. Ilyushenko, A. R. Birman, B. M. Lokshantov* [et al.] // Systems. Methods. Technologies. 2021. № 2 (50). P. 175–184. DOI: 10.18324/2077-5415-2021-2-175-184 (In Russ.)
- The Challenge of Financing the Implementation of Natura 2000 – Empirical Evidence from Six European Union Member States / *M. Geitzenauer, M. Blondet, J. de Koning* [et al.] // Forest Policy and Economics. 2017. № 82. P. 3–13.
- The U. S. forest sector in 2030 : Markets and competitors / *J. Turner, J. Buongiorno, Sh. Zhu, J. Prestemon* // Forest Products Journal. 2005. № 55. URL: <https://www.researchgate.net> (accessed 25.02.2025).
- Zolotarev I. I.* Ecological problems of the Siberian Federal District // Geo-Siberia. 2005. Vol. 1, № 2. P. 42–48. (In Russ.)

Информация об авторах

С. Н. Долматов – кандидат технических наук, доцент.

Information about the authors

S. N. Dolmatov – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor.

Статья поступила в редакцию 24.02.2025; принята к публикации 07.05.2025.

The article was submitted 24.02.2025; accepted for publication 07.05.2025.