

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ДРЕВЕСНОВОЛОКНИСТЫХ ПОЛУФАБРИКАТОВ

М.А. Зырянов✉, С.О. Медведев, А.П. Мохирев

ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнева»,
Россия, 660037, г. Красноярск, ул. Проспект имени газеты «Красноярский рабочий», д. 31

zuryanov13@mail.ru

Установлено, что наиболее перспективным направлением повышения коэффициента комплексного использования древесины является производство древесноволокнистого полуфабриката для дальнейшего его использования при изготовлении конструкционных, отделочных и изоляционных материалов получивших широкое применение, как в строительстве, так и при производстве мебели. Выявлено, что одновременно высокие требования предъявляются к морфологическим характеристиками и показателям качества древесноволокнистого полуфабриката. Установлено, что на сегодняшний день произвести древесную массу с высокими связеобразующими свойствами возможно только в две ступени размла щепы на дисковых ножевых машинах. Выявлено, что в технологии задействованы две размалывающие машины, в результате производство древесноволокнистого полуфабриката является дорогостоящим процессом ввиду высокого потребления электроэнергии и материальных затрат на обслуживание оборудования. Таким образом, настоящие исследования посвящены разработкам конструкции оборудования и технологии позволяющим производить древесноволокнистый полуфабрикат с высокими связеобразующими свойствами в одну ступень размла щепы, что позволяет значительно уменьшить его себестоимость за счет снижения затрат на электроэнергию и обслуживание оборудования. В работе представлены оригинальные конструкторские решения и на основании метода имитационного моделирования исследуемого процесса, а так же анализа экспериментальных данных дано обоснование эффективности предлагаемого размольного оборудования. На основании результатов исследования микрофотографий приведен сравнительный анализ древесноволокнистого полуфабриката произведенного традиционным способом размла в две ступени и предлагаемым в одну с использованием предложенного оборудования. Представленные результаты исследований могут получить широкое применение как при проектировании современного размалывающего оборудования, так и в плитной и целлюлозно-бумажной промышленности.

Ключевые слова: размол, щепы, древесноволокнистый полуфабрикат, ножи, эффективность, отходы

Ссылка для цитирования: Зырянов М.А., Медведев С.О., Мохирев А.П. Современные технические решения для производства древесноволокнистых полуфабрикатов // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2024. Т. 28. № 6. С. 104–114. DOI: 10.18698/2542-1468-2024-6-104-114

Производство древесноволокнистых полуфабрикатов позволяет значительно увеличить объем использования биомассы дерева, снижая количество древесных отходов [1–6]. Отходы лесозаготовительных работ являются потенциальной сырьевой базой для производства огромного количества древесных и композиционных материалов, в том числе и древесноволокнистых полуфабрикатов [7–11]. Использование древесного волокна получило широкое распространение при производстве изоляционных, конструкционных и отделочных материалов.

Производство древесноволокнистых полуфабрикатов имеется во всех государствах с развитым лесопромышленным комплексом и обеспечивает выпуск широкого ассортимента товаров, потребляемых практически во всем мире. Продукция из древесного волокна отличается такими достоинствами, как наличие одинаковых значений физи-

ко-механических показателей по всему его объему, относительно высокая стойкость к небольшим колебаниям влажности, высокий потенциал производства изделий с заданными специфическими свойствами. Последняя характеристика особенно важна, поскольку требования к продукции от различных потребителей и отраслей, которые ее используют, достаточно разнообразны.

В настоящее время в производстве древесноволокнистого полуфабриката высокой степени фибрилляции применяется технология двухступенчатого размла щепы в водной среде при использовании ножевых машин [12–17]. Выявлено, что на первой ступени размла щепы происходит термогидролитическое воздействие на нее, уменьшаются межволоконные связи в результате пластических деформаций срединной пластины. Далее с помощью ножевого воздействия размалывающей гарнитуры осуществляется расщепление технологической щепы на пучки и отдельные волокна. На второй ступени размла значения

показателя фракционного состава выравниваются и происходит получение отдельных древесных волокон из неразделенных пучков [18, 19].

Производство древесноволокнистой массы относится к высокоэнергоёмкому процессу и составляет 60...65 % себестоимости готовых к реализации материалов. Современный уровень развития не позволяет допускать чрезмерных потерь, требует максимальной экономии тепловой и электрической энергии, ресурсов. С одной стороны, это влечет за собой некоторую выгоду для предприятий, с другой — способствует реализации отдельных элементов устойчивого развития. Последнее предусматривает такой подход к производственным процессам, который позволил бы достигать высоких экономических результатов, учитывая интересы будущих поколений. Практически это можно выразить повышенным вниманием к экологическим и социальным вопросам, проводя организацию производств и обеспечивая их функционирование.

Современные деревоперерабатывающие предприятия в подавляющем большинстве работают на устаревшем размольном оборудовании с высоким значением показателя амортизации износа, в отдельных случаях составляющего 90...100 %. Поиск оптимальных значений конструктивных и технологических параметров процесса размола технологической щепы в две ступени приводит к весьма небольшому снижению показателя себестоимости готовой товарной продукции [20, 21]. Решение задачи разработки и создания принципиально нового вида ножевого размалывающего оборудования, позволяющего производить древесноволокнистый полуфабрикат с высокими связеобразующими свойствами, для размола технологической щепы в одну ступень является актуальным на сегодняшнем этапе развития деревоперерабатывающих предприятий.

Использование такого оборудования в технологии размола технологической щепы может значительно снизить себестоимость готовых к реализации материалов вследствие значительного уменьшения энергетических, материальных и трудовых затрат на производство древесноволокнистого полуфабриката. Кроме того, важное значение имеет повышение эффективности предприятий, а так же ограничение их негативного влияния на окружающую среду.

Следует учитывать, что глубокая переработка древесного сырья, неотъемлемым элементом которой является производство древесноволокнистых плит, традиционно является одним из наиболее экологически вредных направлений лесной промышленности. Предлагаемые нами решения в определенной степени способны повлиять на вклад таких предприятий в отноше-

нии ослабления воздействия на природу [22–26]. Россия участвует в различных международных программах, проводит широкие мероприятия по минимизации негативного воздействия лесопромышленного комплекса на окружающую среду. Этому способствует реализация концепции устойчивого развития, предусматривающей повышение энергоэффективности и бережное использование природных ресурсов [27, 28].

Цель работы

Цель работы — разработка конструкции оборудования для производства древесноволокнистого полуфабриката с высокой степенью фибрилляции поверхности в одну ступень размола.

Материалы и методы

Исходным материалом для настоящих исследований послужили результаты литературного обзора отечественных и зарубежных работ, посвященных вопросам производства древесноволокнистого полуфабриката и анализу практического опыта деревоперерабатывающих производств. В качестве основных методов исследований помимо анализа литературных источников выбран метод аналитического расчета конструктивных и технологических параметров размалывающей установки и имитационного моделирования в среде программы SolidWorks, в которой разработаны 3D-модели деталей и механизмов.

Результаты и обсуждение

В результате проведенных исследований нами была разработана конструкция размольной установки рафинер К-1150/382 (рис. 1).

Рабочая камера рафинера представляет собой конус, малый диаметр которого составляет 382 мм, а большой — 1150 мм. Внутри камеры по образующим конуса равномерно распределены 25 планок. Каждая планка имеет по шесть параллельных ножей, расположенных вдоль оси. Крестовина из четырех лопастей выступает в качестве ротора размольной машины. Предусмотренный в конструкции рафинера присадочный механизм позволяет изменять величину зазора между ножами планок статора и кромкой крестовины ротора, что делает процесс размола щепы более управляемым.

Анализ показал, что при размоле щепы на предложенной установке высокие значения показателей качественных и морфологических характеристик древесноволокнистого полуфабриката достигаются благодаря эффектам, свойственным цилиндрическим, коническим и дисковым размольным машинам, дефибратору роликовогоребенчатому и мельнице крестовой. Воздействие на технологическую щепу идентич-

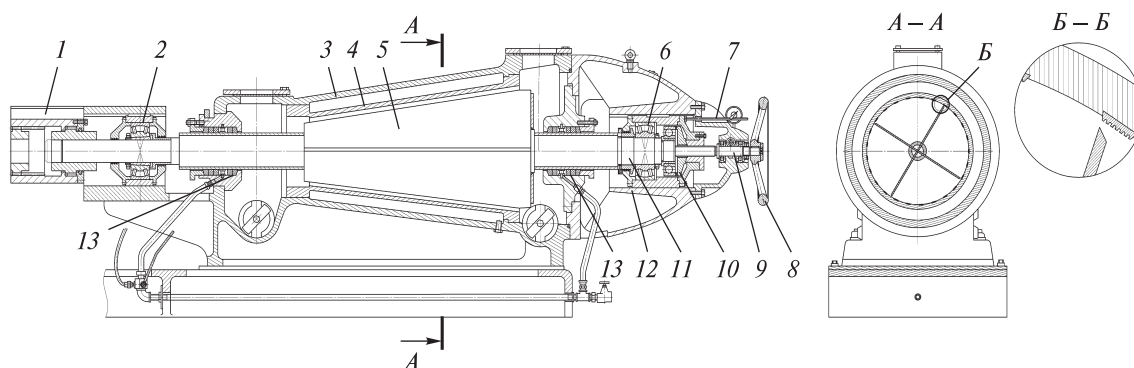


Рис. 1. Схема размалывающей установки: 1 — соединительная муфта; 2 — задний подшипниковый узел; 3 — корпус; 4 — статор с закрепленными гребенчатыми планками; 5 — крестовина ротора; 6 — передний подшипниковый узел; 7 — контактная шпилька; 8 — штурвал регулировочный; 9 — регулирующий вал; 10 — крышка переднего подшипникового узла; 11 — вал; 12 — присадочный механизм; 13 — сальниковый узел

Fig. 1. Schematic diagram of the grinding unit: 1 — connecting coupling; 2 — rear bearing unit; 3 — housing; 4 — stator with fixed comb bars; 5 — rotor cross; 6 — front bearing unit; 7 — contact stud; 8 — adjusting hand wheel; 9 — adjusting shaft; 10 — cover of the front bearing unit; 11 — shaft; 12 — additive mechanism; 13 — packing unit

ное размолу на первой ступени в дефибраторе, возникает в зазоре между ножами планок статора и гранью лопасти ротора в результате влияния сил мятая, резания, трения, раздавливания. Действие сил перемешивания, центробежной и трения, возникновение эффектов перекачки древесноволокнистой массы и ее циркуляции, идентичные второй ступени размолу, осуществляются в зоне, где отсутствуют поверхности размолу. Так, спроектированная размалывающая установка способна обеспечить протекание в рабочей камере силовых воздействий, присущих размолу щепы на первой ступени, пучков и отдельных волокон — на второй.

В целях дополнительного фибриллирования древесного волокна была разработана специфическая конструкция рабочих органов рафинера К-1150/382, особенность которой заключается в наличии специфических зон, имеющих элементы, позволяющие дополнительно фибриллировать поверхность древесного волокна. На конструктивный элемент, который дает возможность дополнительно фибриллировать поверхность древесного волокна, получено авторское свидетельство [29] (рис. 2).

Рабочие органы состоят из интегрированных в лопасти ротора 1 (см. рис. 2, а) конструктивных элементов для дополнительного фибриллирования поверхности древесного волокна 2 с зубьями определенной высоты. Конструктивные элементы имеют цилиндрическую форму высотой $h_4 = 37,7$ мм. Крепление конструктивных элементов осуществляется за счет кольца стопорного 3 (см. рис. 2, в), закрепленного в пазе 4 (см. рис. 2, в). Конструктивные элементы для дополнительного фибриллирования поверхности древесного

волокна 2 расположены так, что их межзубное расстояние составляет $a = 12$ мм, а расстояние от края лопасти статора до оси конструктивного элемента — $b = 15$ мм.

На выходе из элемента для дополнительного фибриллирования поверхности древесного волокна расположены зубья трех видов (см. рис. 2, з): 1) четыре зуба с углом при вершине $\alpha = 23^\circ$ и высотой $h_1 = 7,6$ мм; 2) четыре зуба с углом при вершине $\beta = 31^\circ$ и высотой $h_2 = 7,1$ мм; 3) восемь зубьев с углом при вершине $\gamma = 42^\circ$ и высотой $h_3 = 6,6$ мм.

Так, в процессе размолу в рафинере К-1150/382 пучки слабо размолотых волокон, скользя вдоль внутренней стенки сепаратора — выступающие острые края зубьев, проходя через цилиндрические стаканы 2 (см. рис. 2, а) с острыми зубьями (см. рис. 2, з), разделяются вдоль на отдельные волокна и фибриллы (имеет место начес пучков волокон и отдельных волокон). Разделенные волокна проходят через конструктивные элементы для дополнительного фибриллирования, в процессе чего на них воздействуют острые зубья. Зубья, имеющие угол при вершине 23° и высоту 7,6 мм, обеспечивают внутреннее фибриллирование и формирование магистральной трещины по средствам оказания на волокно рвущего и надрезающего действия. Зубья с углом при вершине 31° и высотой 7,1 мм обеспечивают формирование внешнего фибриллирования волокна. Зубья с углом при вершине 42° и высотой 6,6 мм обеспечивают разделение древесных волокон по фракциям, внешнее и внутреннее фибриллирование.

На рис. 3 представлен общий вид вала в сборе роторной части рафинера К-1150/382.

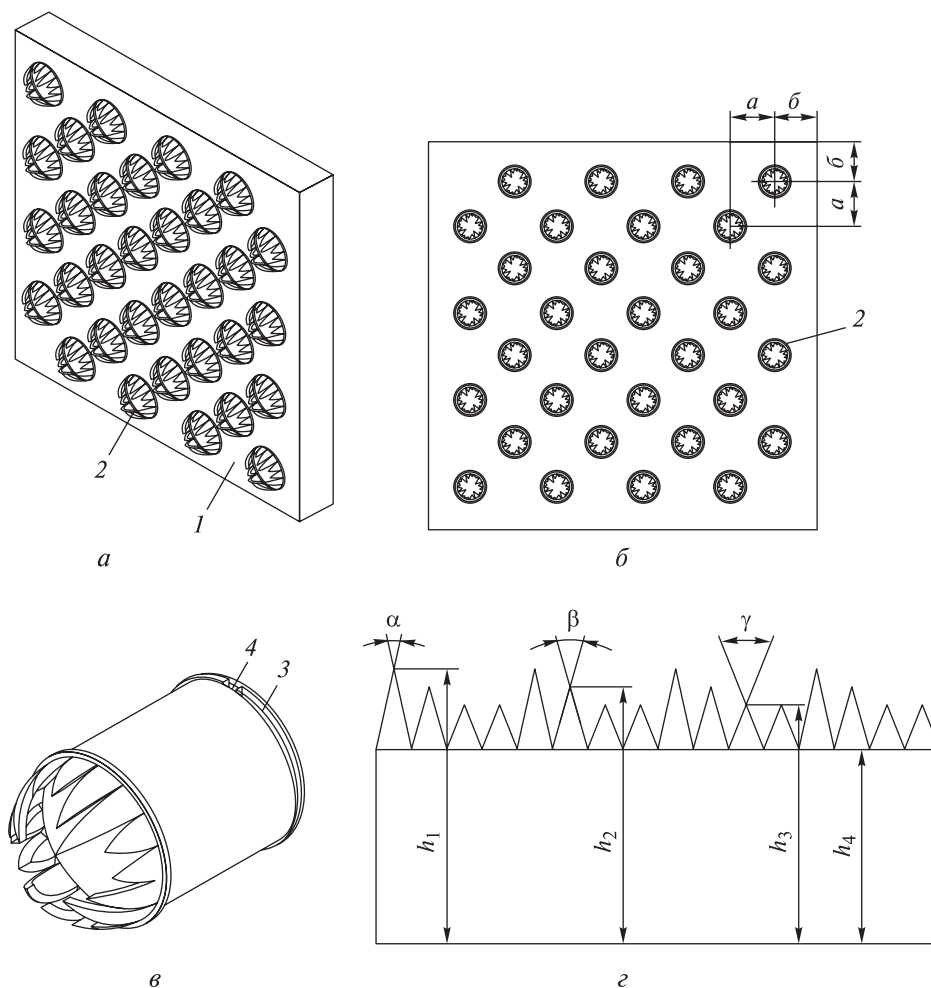


Рис. 2. Устройство конструктивного элемента, позволяющего дополнительно фибриллировать поверхность древесного волокна: *a, б* — лопасти ротора с конструктивными элементами: соответственно 3D-модель и вид сзади; *в* — конструктивный элемент; *г* — развертка конструктивного элемента; *1* — лопасть ротора; *2* — конструктивный элемент; *3* — кольцо стопорное; *4* — паз для кольца стопорного; *высота зубьев*: h_1 — больших; h_2 — средних; h_3 — малых; h_4 — длина образующей конструктивного элемента; *углы при вершине зубьев*: α — больших; β — средних; γ — малых; a — расстояние между осями конструктивных элементов; b — расстояние между осями конструктивных элементов и краем лопасти ротора

Fig. 2. Device of the constructive element allowing additional fibrillation of the wood fiber surface: *a, б* — rotor blades with constructive elements: respectively 3D-model and rear view; *в* — constructive element; *г* — reamer of the constructive element; *1* — rotor blade; *2* — constructive element; *3* — locking ring; *4* — groove for the locking ring; *height of teeth*: h_1 — large; h_2 — medium; h_3 — small; h_4 — length of the structural element; *angles at the top of the teeth*: α — large; β — medium; γ — small; a — distance between the axes of the structural elements; b — distance between the axes of the structural elements and the edge of the rotor blade

Для определения основных факторов, устанавливающих закономерности фибриллирования и его эффективность, а также для обоснования выбора материала для изготовления устройств было выполнено имитационное моделирование исследуемого процесса в программе SolidWorks. Работа проводилась с привлечением специалистов в технологической составляющей исследования и экспертов в данном программном обеспечении. Полученные результаты обоснованы и корректны,

что было подтверждено многократными итерациями исследования на различном оборудовании и версиях программного продукта. В ходе анализа результатов имитационного моделирования была построена эпюра распределения деформаций (рис. 4), возникающих в конструктивном элементе для дополнительного фибриллирования поверхности древесного волокна, установленного в лопасть крестовины ротора рафинера К-1150/382.

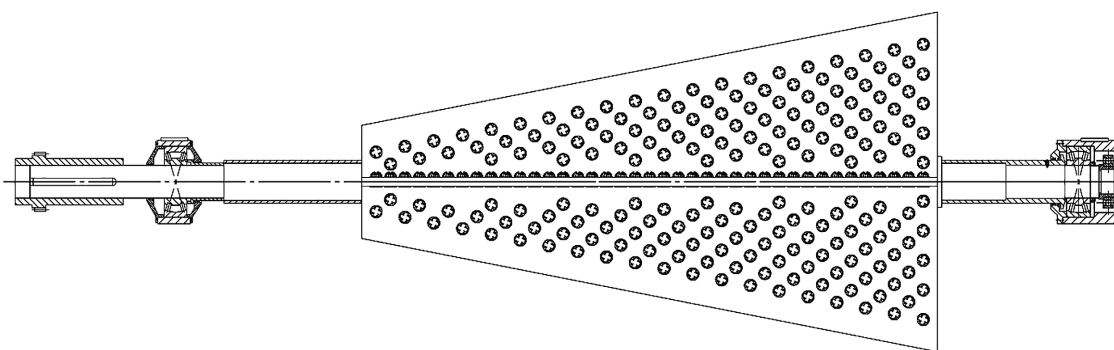


Рис. 3. Общий вид вала в сборе роторной части рафинера К-1150/382 с установленными в лопасти конструктивными элементами для дополнительного фибриллирования поверхности древесного волокна

Fig. 3. General view of the shaft assembly of the rotor part of the refiner K-1150/382 with the structural elements for additional fibrillation of the wood fiber surface installed in the blade

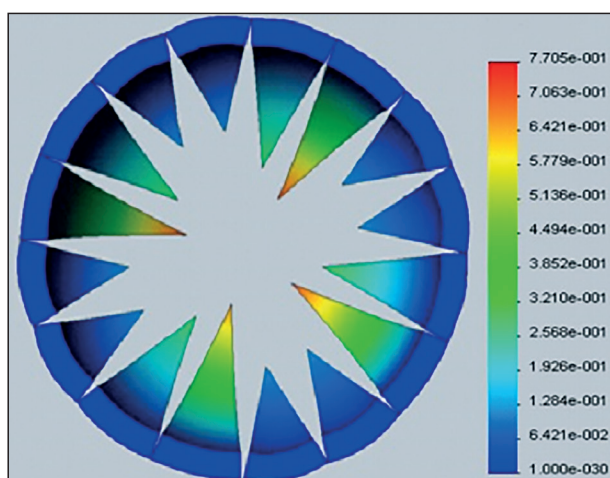


Рис. 4. Эпюра деформаций, мм
Fig. 4. Strain diagram, mm

Характеристика древесного волокна произведенного в две и одну ступени размола технологической щепы

Characteristics of wood fiber produced in two and one stages of technological chips grinding

Способ производства древесноволокнистого полуфабриката	Степень помола массы, ДС	Фракционный показатель качества помола, г	Удельная поверхность волокна, мм ² /г	Отношение длины волокна к его диаметру
В одну ступень	22,1	41,1	20 018	18,0
	22,0	41,5	21 153	19,2
	23,0	40,4	22 248	17,4
	22,8	42,2	22 517	17,0
	22,9	40,1	22 210	18,2
В две ступени	21,5	32,1	18 567	14,6
	20,1	31,2	18 214	13,0
	22,4	30,9	18 914	16,4
	21,2	32,8	18 817	14,3
	21,8	33,7	19 100	13,8

Как видно из представленной на рис. 4 эпюры, максимальная деформация возникает в зубьях с углом при вершине 23° и высотой 7,6 мм. В процессе укорачивания зубьев деформация снижается. В результате анализ результатов имитационного моделирования процесса воздействия внешних сил на единичное волокно при прохождении через элемент для фибриллирования и эпюры деформаций показал, что зубья оказывают на волокно преимущественно разрывающее и режущее воздействие. Это благоприятно влияет на формирование магистральной трещины, а также способствует значительному фибриллированию как внешней, так и внутренней поверхности волокна. Основываясь на результатах аналитического расчета и имитационного моделирования исследуемого процесса, приходим к выводу, что наиболее целесообразно изготавливать устройства для дополнительного фибриллирования из стали марки 40Х. Данная марка стали является легированной, что придает устойчивость к коррозии, а повышенное содержание углерода и наличие хрома обеспечивают прочность и твердость.

В целях обоснования эффективности предложенной конструкции рафинера К-1150/382 и сравнительного анализа получаемого древесноволокнистого полуфабриката с традиционным способом размола щепы в две ступени была изготовлена опытная модель и реализована серия экспериментов. Эксперименты проводились в лабораторных условиях при соблюдении базовых принципов выполнения данных видов работ.

Как видно на рис. 5, при получении древесноволокнистого полуфабриката в рафинере К-1150/382 волокно хорошо фибриллировано и расщеплено вдоль оси.

На рис. 6, а представлена фотография, которая наглядно демонстрирует, что древесноволокнистый полуфабрикат состоит в основном из средней и крупной фракции, при этом мелкое волокно практически отсутствует. Полуфабрикат состоит

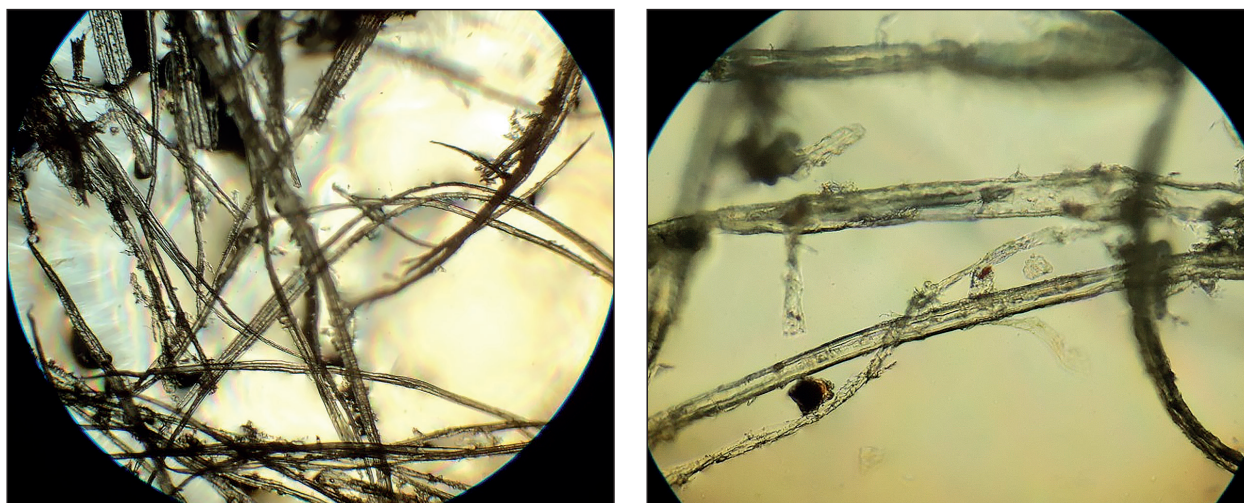
*a**б*

Рис. 5. Древесноволокнистый полуфабрикат, произведенный в рафинере К-1150/382: *a* — ув. $\times 20$; *б* — ув. $\times 70$
Fig. 5. Wood fibre semi-finished product produced in the refiner K-1150/382: *a* — e.g. $\times 20$; *б* — e.g. $\times 70$

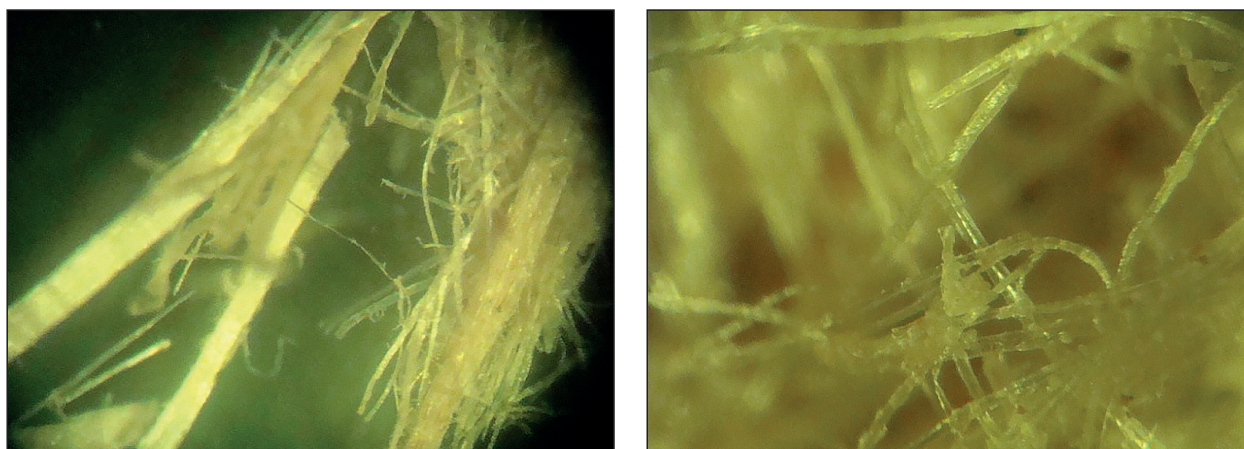
*a**б*

Рис. 6. Древесноволокнистый полуфабрикат после первой и второй ступени размола: *a* — древесная масса после первой ступени размола (ув. $\times 50$); *б* — древесная масса после второй ступени размола (ув. $\times 50$)
Fig. 6. Wood fiber semi-finished product after the first and second grinding stages: *a* — wood pulp after the first grinding stage (eq. $\times 50$); *б* — wood pulp after the second grinding stage (eq. $\times 50$)

из волокна с частично удаленными в процессе ножевого воздействия первичного и наружного слоями вторичной стенки. В продольном направлении к оси волокна происходит разделение их пучков в результате появления и дальнейшего увеличения микротрещин. Повсеместно наблюдаются расчесывание концов волокон и их обрывы. При этом поперечные разрушения выражаются в наличии в общей древесной массе пучков и отдельных волокон с ровными срезами с разломаченными и закругленными концами.

Как наглядно демонстрирует фотография (см. рис. 6), после второй ступени размола древесной массы волокна не подвергаются укорачиванию. Пучки и отдельные волокна — мягкие и тонкие. В большом количестве присутствуют

волокна, представляющие собой плоские ленты с характерной сплюснутостью, внутренними слоистостью и фибриллизацией.

Итоги оценки качественных показателей и морфологических характеристик древесного волокна, произведенного традиционно в две ступени размола технологической щепы и в одну на рафинере К-1150/382, сведены в таблице.

Анализ результатов экспериментальных исследований, представленных в таблице, показал, что произведенный древесноволокнистый полуфабрикат с использованием рафинера К-1150/382 обладает высокими качественными показателями и хорошими морфологическими характеристиками. Кроме того, полуфабрикат имеет волокна большой длины и высокую степень фибрилляции.

Как отмечали исследователи [30–32], древесноволокнистый полуфабрикат с такими свойствами способствует лучшему образованию когезионных связей при изготовлении готовой товарной продукции.

Таким образом, основная цель исследуемого оборудования полностью достигнута. Предложенная разработка имеет существенные преимущества перед традиционно используемыми и ресурсоемкими альтернативами. В условиях необходимости модернизации всего лесопромышленного комплекса, подобные разработки должны выступать основой для качественных преобразований в отрасли.

Исследование экономической эффективности и целесообразности внедрения предложенного оборудования проводили с помощью классических методов расчета себестоимости, ее изменений и оценки инвестиционных решений [33–35]. В качестве базы для сравнения использовались сведения о работе и расходах на производство древесноволокнистых плит по нескольким предприятиям страны. Анализ показал, что в результате модернизации с привлечением разработанного рафинера возможно снижение себестоимости продукции на 10...13 %. Экономия происходит за счет сокращения расходов на электроэнергию, оплату труда (и отчислений), ремонт и обслуживание. Данные изменения объясняются меньшим энергопотреблением, количеством единиц оборудования и, как следствие, потребностями в обслуживании (персонал и ремонты), а также рядом производственных факторов. В зависимости от объемов деятельности, производственных мощностей и стоимости ресурсов для конкретных предприятий срок окупаемости предложенных разработок не превышает 1,5 года.

Подобные модернизации должны выступать важнейшим элементом по реализации государственной политики по повышению внимания к окружающей среде и, в частности, отдельных принципов устойчивого развития. Таким образом, внедрение предложенного оборудования выгодно предприятиям лесной отрасли и положительно повлияет на окружающую среду.

Выводы

Конструкция ножевой размалывающей машины позволяет получать древесноволокнистый полуфабрикат с высокими связеобразующими свойствами в одну ступень размала щепы. Использование рафинера К-1150/382 в производственном процессе показало высокую эффективность. Полученные результаты наглядно продемонстрировали преимущества предложенной разработки по сравнению с действующими технологическими решениями. Также важно, что

принятый правительством страны курс на реализацию принципов устойчивого развития, находит отражение при внедрении подобных разработок. Снижение материальных и энергетических затрат уменьшает отрицательное влияние на окружающую среду и высвобождает ценные ресурсы для использования в альтернативных направлениях.

Исследование выполнено за счет гранта Российской государственной программы № 22-78-10002, <https://rscf.ru/project/22-78-10002/>

Список литературы

- [1] Казымов Д.С., Махотина Л.Г., Никандров А.Б., Кузнецов А.Г., Аким Э.Л. Особенности переработки древесины *Larix Sibirica Ledeb* (Pinaceae) в волокнистые полуфабрикаты высокого выхода // *Химия растительного сырья*, 2021. № 1. С. 317–325.
- [2] Тамби А.А., Угрюмов С.А., Бирман А.Р., Черноградская И.А., Рунова Е.М., Никифорова В.А. Обоснование необходимости внедрения процессов комплексного использования древесины на лесопильных предприятиях // *Системы. Методы. Технологии*, 2020. № 2 (46). С. 47–54.
- [3] Полянская О.А., Тамби А.А., Михайлова А.Е. Развитие лесопромышленного комплекса Российской Федерации: проблемы и перспективы // *Петербургский экономический журнал*, 2020. № 4. С. 65–74.
- [4] Wu Y., Tham J. The impact of environmental regulation, Environment, Social and Government Performance, and technological innovation on enterprise resilience under a green recovery // *Heliyon*, 2023, no. 9(10), p. 2027. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e20278>
- [5] Chang Y., Liu B., Gao M. Mechanism and prediction of china-russia timber trade from the perspective of sustainable development // *International J. of Sustainable Development and Planning*, 2020, no. 15(4), pp. 559–567.
- [6] Koçak, E., Önderol, S., Khan, K. Structural change, modernization, total factor productivity, and natural resources sustainability: An assessment with quantile and non-quantile estimators // *Resources Policy*, 2021, no. 74, p. 10243. <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2021.102433>
- [7] Ariko S.Ye., Kononovich D.A., Voinash S.A., Sokolova V.A., Polyanskaya O.A., Garbuzova T.G., Andronov A.V. Selection of parameters of machines for collection of logging waste // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. Krasnoyarsk Science and Technology City Hall of the Russian Union of Scientific and Engineering. Krasnoyarsk*, 2021, p. 52019.
- [8] Gryazkin A.V., Beliaev V.V., Beliaeva N.V., Petrik V.V., Kuznetsov E.N., Shakhov A.G. The logging waste as inexhaustible resource for alternative energy // *Thermal Science*, 2017, no. 21(2), pp. 1135–1142.
- [9] Larchenko Y.G., Shusharina G.A., Tretyakov A.V. State and prospects of logging and sawmilling waste management in khabarovsk territory // *Business 4.0 as a Subject of the Digital Economy*, Cham, 2022, pp. 887–892.
- [10] Pinchevska O., Lakyda Y., Baranova O., Biletskyi M., Holovach V., Oliinyk R., Yeroshenko A. Designing a new wood-composite material made from logging waste // *Eastern-European J. of Enterprise Technologies*, 2020, no. 4(1–106), pp. 91–97.
- [11] Vititnev A., Alashkevich Y., Marchenko R., Zyryanov M., Mokhirev A. Use of logging waste in technologies for deep chemical processing of wood // *Wood Research*, 2021, no. 66(5), pp. 821–832.

- [12] Конюхова В.В., Юртаева Л.В., Алашкевич Ю.Д. Механизм обработки вторичного волокнистого материала хвойных пород древесины при комбинированном способе размола // Хвойные бореальной зоны, 2018. Т. 36. № 4. С. 371–374.
- [13] Карелина А.А., Алашкевич Ю.Д., Кожухов В.А. Размол волокнистых материалов высокой концентрации из одолетних растений в производстве готовой продукции // Экологические аспекты современных технологий в химико-лесном комплексе: сб. науч. материалов I и II науч.-практ. конф., Архангельск, 31 мая 2022 года – 17 мая 2024 года. Архангельск: Изд-во Федерального исследовательского центра комплексного изучения Арктики имени академика Н.П. Лаврова УрО РАН, 2024. С. 58–62.
- [14] Аким Э.Л., Рыбников О.В., Пекарец А.А., Федорова О.В., Махотина Л.Г., Луканин П.В., Роговина С.З., Берлин А.А. Инновационные технологии биорефининга лиственницы и осины как важные шаги на пути к углеродной нейтральности российского ЛПК // Проблемы механики целлюлозно-бумажных материалов. Архангельск: Изд-во Северного (Арктического) федерального университета имени М.В. Ломоносова, 2023. С. 296–301.
- [15] Иванова В.Н., Уварова Д.Ю., Махотина Л.Г., Аким Э.Л. Переработка волокнистых полуфабрикатов высокого выхода // ИзВУЗ Лесной журнал, 2017. № 6 (360). С. 145–150.
- [16] Ушаков А.В., Алашкевич Ю.Д., Кожухов В.А. Возможность размола волокнистых полуфабрикатов высокой концентрации в дисковой мельнице // Современные тенденции развития химической технологии, промышленной экологии и техносферной безопасности. СПб.: Изд-во СПбГУПТД, 2020. С. 270–272.
- [17] Чистова Н.Г., Матыгулина В.Н., Алашкевич Ю.Д. Подготовка древесноволокнистых полуфабрикатов в ножевых размалывающих машинах различной модификации // Химия растительного сырья, 2020, № 4, С. 459–466.
- [18] Вититнев А.Ю., Алашкевич Ю.Д., Чистова Н.Г., Матыгулина В.Н. Влияние степени помола древесных волокон после первой ступени размола на физико-механические свойства древесноволокнистых материалов // Проблемы механики целлюлозно-бумажных материалов. Архангельск: Изд-во Северного (Арктического) федерального университета имени М.В. Ломоносова, 2021. С. 157–160.
- [19] Kudryavtsev P., Kudryavtsev N., Trossman A. New research and development in the field of inorganic composite materials // Scientific Israel – Technological Advantages, 2017, t. 19, no. 3, pp. 25–39.
- [20] Vititnev A.Yu., Alashkevich Yu.D., Chistova N.G., Marchenko R.A. Improving the construction of grinding disk mill for producing fibrous semi-finished products // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. Krasnoyarsk Science and Technology City Hall., Krasnoyarsk, Russian Federation, 2021, p. 12172.
- [21] Sergeevichev A., Kushnerev V., Sergeevichev V., Sokolova V., Onegin V. Analysis of the influence of instrumental and regime factors on the quality of wood grinding // J. of Physics: Conference Series. International Scientific Conference «Conference on Applied Physics, Information Technologies and Engineering – APITECH-2019». Krasnoyarsk Science and Technology City Hall of the Russian Union of Scientific and Engineering Associations; Polytechnical Institute of Siberian Federal University, 2019, p. 44043.
- [22] Slyusarskiy K.V., Larionov K.B., Gubin V.E. The complex research on the technical conditions of energy application of wood pyrolysis bio-oil // Энерго-ресурсоэффективность в интересах устойчивого развития (SEWAN – 2021). Sustainable And Efficient Use Of Energy, Water And Natural Resources (SEWAN – 2021). Материалы III Междунар. науч. конф. SEWAN – 2021. Санкт-Петербург, 2021, С. 104–105.
- [23] Shishmareva A.V., Moiseeva E.E. Complex processing assessment of wood waste of the Krasnoyarsk region forestry complex // European Proceedings of Social and Behavioural Sciences EpSBS. Krasnoyarsk Science and Technology City Hall. Krasnoyarsk, 2020, pp. 258–268.
- [24] Larionov K.B., Slyusarskiy K.V., Kirgina M.V., Gvozdyakov D.V., Zenkov A.V., Bogdanov I.A., Kaltaev A.Z., Gubin V.E. The complex research on the technical conditions of energy application of wood pyrolysis bio-oil // Energy, Ecology and Environment, 2022, no. 3, p. 245.
- [25] Jarman S. Processed wood can be moulded into complex 3d structures // Physics World, 2022, no. 35(1), p. 711.
- [26] Sereda T.G., Kostarev S.N. Modeling of industrial stream and resources of machine-building enterpriser complex of wood preparation // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2018, p. 22094.
- [27] Завьялов М.В. Механизм государственной политики в процессе управления устойчивым развитием кластера лесопромышленной сферы // Региональная экономика и управление, 2020, № 4 (64), с. 5.
- [28] Третьяков А.Г., Майоров И.Г. Модернизация лесного планирования // Труды Санкт-Петербургского научно-исследовательского института лесного хозяйства, 2023, № 1. С. 70–81.
- [29] Зырянов М.А., Чистова Н.Г., Аксенов Н.В., Шинкевич И.В., Матыгулина В.Н. Устройство для фибриллирования и сепарирования волокнистых материалов. Патент № RU 2657685 C2 РФ D21D 1/00. № 2016119217; заявл. 17.05.2016; опубл. 14.06.2018, Бюл. №17. 10 с.
- [30] Зырянов М.А. Получение полуфабрикатов в одну ступень размола для производства древесноволокнистых плит мокрым способом: дис. ... канд. техн. наук: 05.21.03. Красноярск, 2012. 171 с.
- [31] Чистова Н.Г. Переработка древесных отходов в технологическом процессе получения древесноволокнистых плит: дис. ... д-ра техн. наук: 05.21.03. Красноярск, 2010. 415 с.
- [32] Набиева А.А., Алашкевич Ю.Д., Ковалев В.И. Анализ формирования технологических параметров ножевых размалывающих гарнитур // Химия растительного сырья, 2009. № 3. С. 169–172.
- [33] Осипова И.В. Разработка методики расчета показателей оценки эффективности внедрения нового оборудования // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Экономика. Социология. Менеджмент, 2015. № 4 (17). С. 203–207.
- [34] Морковина С.С., Панявина Е.А., Цепляев А.Н. Инновационные технологии в лесном хозяйстве регионов: экономический аспект // Вестник Академии знаний, 2020. № 41 (6). С. 206–215.
- [35] Рудакова Т.А., Семиколенова М.Н., Ракшина Н.А. Калькулирование себестоимости продукции лесного хозяйства // Социально-экономический и гуманитарный журнал, 2017. № 1(5). С. 151–165.

Сведения об авторах

Зырянов Михаил Алексеевич [✉] — канд. техн. наук, доцент, науч. сотр., ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнева», zyryanov13@mail.ru

Медведев Сергей Олегович — канд. экон. наук, ст. науч. сотр., ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнева», medvedev_serega@mail.ru

Мохирев Александр Петрович — д-р. техн. наук, ст. науч. сотр., ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнева», ale-mokhirev@yandex.ru

Поступила в редакцию 13.02.2024.

Одобрено после рецензирования 01.04.2024.

Принята к публикации 05.09.2024.

MODERN TECHNICAL SOLUTIONS FOR WOOD FIBER SEMI-PRODUCTS PRODUCTION

M.A. Zyryanov [✉], **S.O. Medvedev**, **A.P. Mokhirev**

Reshetnev Siberian State University of Science and Technology, 31, Krasnoyarskii rabochii av., 660037, Krasnoyarsk, Russia

zyryanov13@mail.ru

It is known that the most promising direction for increasing the coefficient of integrated use of wood is the production of semi-finished wood fiber products for its further use in the manufacture of structural, finishing and insulating materials that are widely used both in construction and in the production of furniture. At the same time, high demands are placed on the morphological characteristics and quality indicators of semi-finished wood fiber products. It has been established that today it is possible to produce wood pulp with high bond-forming properties only in two stages of grinding chips on disc knife machines. Since the technology involves two grinding machines, the production of semi-finished wood fiber products is an expensive process due to high energy consumption and material costs for equipment maintenance. As a result, this research is devoted to the development of equipment design and technology that allows the production of semi-finished wood fiber products with high bond-forming properties in one stage of grinding chips, which can significantly reduce its cost by reducing the cost of electricity and equipment maintenance. The paper presents original design solutions and, based on the method of simulation of the process under study, as well as analysis of experimental data, justifies the efficiency of the proposed grinding equipment. Based on the results of a study of microphotographs, a comparative analysis of the wood-fiber semi-finished product produced by the traditional method of grinding in two stages and proposed in one using the proposed equipment is given. The research results can be widely used both in the design of modern grinding equipment and in the board and pulp and paper industries.

Keywords: grinding, wood chips, semi-finished wood fiber product, knives, efficiency, waste

Suggested citation: Zyryanov M.A., Medvedev S.O., Mokhirev A.P. *Sovremennyye tekhnicheskie resheniya dlya proizvodstva drevesnovoloknistykh polufabrikatov* [Modern technical solutions for wood fiber semi-products production]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2024, vol. 28, no. 6, pp. 104–114.

DOI: 10.18698/2542-1468-2024-6-104-114

References


- [1] Kazymov D.S., Makhotina L.G., Nikandrov A.B., Kuznetsov A.G., Akim E.L. *Osobennosti pererabotki drevesiny Larix Sibirica Ledeb (Pinaceae) v voloknistye polufabrikaty vysokogo vykhoda* [Features of processing Larix Sibirica Ledeb (Pinaceae) wood into high-yield fibrous semi-finished products]. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya* [Chemistry of plant raw materials], 2021, no. 1, pp. 317–325.
- [2] Tambi A.A., Ugrumov S.A., Birman A.R., Chernogradskaya I.A., Runova E.M., Nikiforova V.A. *Obosnovanie neobkhodimosti vnedreniya protsessov kompleksnogo ispol'zovaniya drevesiny na lesopil'nykh predpriyatiyakh* [Justification of the need to introduce processes for the integrated use of wood at sawmills]. *Sistemy. Metody. Tekhnologii* [Systems. Methods. Technologies], 2020, no. 2 (46), pp. 47–54.
- [3] Polyanskaya O.A., Tambi A.A., Mikhaylova A.E. *Razvitie lesopromyshlennogo kompleksa Rossiyskoy Federatsii: problemy i perspektivy* [Development of the forestry complex of the Russian Federation: problems and prospects]. *Peterburgskiy ekonomicheskii zhurnal* [Petersburg Economic Journal], 2020, no. 4, pp. 65–74.
- [4] Wu Y., Tham J. The impact of environmental regulation, Environment, Social and Government Performance, and technological innovation on enterprise resilience under a green recovery. *Heliyon*, 2023, no. 9(10), p. 2027. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e20278>
- [5] Chang Y., Liu B., Gao M. Mechanism and prediction of china-russia timber trade from the perspective of sustainable development. *International J. of Sustainable Development and Planning*, 2020, no. 15(4), pp. 559–567.
- [6] Koçak, E., Önderol, S., Khan, K. Structural change, modernization, total factor productivity, and natural resources sustainability: An assessment with quantile and non-quantile estimators. *Resources Policy*, 2021, no. 74, p. 10243. <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2021.102433>

- [7] Ariko S.Ye., Kononovich D.A., Voinash S.A., Sokolova V.A., Polyanskaya O.A., Garbuzova T.G., Andronov A.V. Selection of parameters of machines for collection of logging waste. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. Krasnoyarsk Science and Technology City Hall of the Russian Union of Scientific and Engineering. Krasnoyarsk, 2021, p. 52019.
- [8] Gryazkin A.V., Beliaev V.V., Beliaeva N.V., Petrik V.V., Kuznetsov E.N., Shakhov A.G. The logging waste as inexhaustible resource for alternative energy. Thermal Science, 2017, no. 21(2), pp. 1135–1142.
- [9] Larchenko Y.G., Shusharina G.A., Tretyakov A.V. State and prospects of logging and sawmilling waste management in khabarovsk territory. Business 4.0 as a Subject of the Digital Economy, Cham, 2022, pp. 887–892.
- [10] Pinchevska O., Lakyda Y., Baranova O., Biletskyi M., Holovach V., Oliinyk R., Yeroshenko A. Designing a new wood-composite material made from logging waste. Eastern-European J. of Enterprise Technologies, 2020, no. 4(1–106), pp. 91–97.
- [11] Vitiitnev A., Alashkevich Y., Marchenko R., Zyryanov M., Mokhiev A. Use of logging waste in technologies for deep chemical processing of wood. Wood Research, 2021, no. 66(5), pp. 821–832.
- [12] Konyukhova V.V., Yurtaeva L.V., Alashkevich Yu.D. *Mekhanizm obrabotki vtorichnogo voloknistogo materiala khvoynykh porod drevesiny pri kombinirovannom sposobe razmola* [Mechanism of processing secondary fibrous material of coniferous wood species using a combined grinding method]. *Khvoynye boreal'noy zony* [Conifers of the boreal zone], 2018, v. 36, no. 4. Pp. 371–374.
- [13] Karelina A.A., Alashkevich Yu.D., Kozhukhov V.A. *Razmol voloknistykh materialov vysokoy kontsentratsii iz odnoletnikh rasteniy v proizvodstve gotovoy produktsii* [Grinding of high-concentration fibrous materials from annual plants in the production of finished products]. *Ekologicheskie aspekty sovremennykh tekhnologiy v khimiko-lesnom komplekse: sb. nauch. materialov I i II nauchno-prakticheskikh konferentsiy* [Ecological aspects of modern technologies in the chemical-forestry complex: collection of scientific materials of the I and II scientific and practical conferences], Arkhangelsk, May 31, 2022 – May 17, 2024. Arkhangelsk: Federal'nyy issledovatel'skiy tsentr kompleksnogo izucheniya Arktiki im. akad. N.P. Laverova UrO RAN [Federal Research Center for Integrated Study of the Arctic named after academician N.P. Laverova UrB RAS], 2024, pp. 58–62.
- [14] Akim E.L., Rybnikov O.V., Pekarets A.A., Fedorova O.V., Makhotina L.G., Lukanin P.V., Rogovina S.Z., Berlin A.A. *Innovatsionnye tekhnologii biorefayninga listvenitsy i osiny kak vazhnye shagi na puti k uglerodnoy neytral'nosti rossiyskogo LPK* [Innovative technologies for larch and aspen biorefining as important steps towards carbon neutrality of the Russian forestry complex]. *Problemy mekhaniki tsellyulozno-bumazhnykh materialov* [Problems of Mechanics of Pulp and Paper Materials]. Arkhangelsk: Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov, 2023, pp. 296–301.
- [15] Ivanova V.N., Uvarova D.Yu., Makhotina L.G., Akim E.L. *Pererabotka voloknistykh polufabrikatov vysokogo vykhoda* [Processing of high-yield fibrous semi-finished products]. *Lesnoy Zhurnal* (Russian Forestry Journal), 2017, no. 6 (360), pp. 145–150.
- [16] Ushakov A.V., Alashkevich Yu.D., Kozhukhov V.A. *Vozmozhnost' razmola voloknistykh polufabrikatov vysokoy kontsentratsii v diskovoy mel'nitse* [Possibility of grinding high-concentration fibrous semi-finished products in a disk mill]. *Sovremennye tendentsii razvitiya khimicheskoy tekhnologii, promyshlennoy ekologii i tekhnosfernoy bezopasnosti* [Modern trends in the development of chemical technology, industrial ecology and technosphere safety]. SPb.: SPbGUPTD, 2020, pp. 270–272.
- [17] Chistova N.G., Matyugulina V.N., Alashkevich Yu.D. *Podgotovka drevesnovoloknistykh polufabrikatov v nozhevykh razmalyvayushchikh mashinakh razlichnoy modifikatsii* [Preparation of wood fiber semi-finished products in knife grinding machines of various modifications]. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya* [Chemistry of plant raw materials], 2020, no. 4, pp. 459–466.
- [18] Vitiitnev A.Yu., Alashkevich Yu.D., Chistova N.G., Matyugulina V.N. *Vliyaniye stepeni pomola drevesnykh volokon posle pervoy stupeni razmola na fiziko-mekhanicheskie svoystva drevesnovoloknistykh materialov* [Influence of the degree of grinding of wood fibers after the first stage of grinding on the physicochemical properties of wood fiber materials]. *Problemy mekhaniki tsellyulozno-bumazhnykh materialov* [Problems of mechanics of pulp and paper materials]. Arkhangelsk: [Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov], 2021, pp. 157–160.
- [19] Kudryavtsev P., Kudryavtsev N., Trossman A. New research and development in the field of inorganic composite materials. *Scientific Israel – Technological Advantages*, 2017, v. 19, no. 3, pp. 25–39.
- [20] Vitiitnev A.Yu., Alashkevich Yu.D., Chistova N.G., Marchenko R.A. Improving the construction of grinding disk mill for producing fibrous semi-finished products. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. Krasnoyarsk Science and Technology City Hall., Krasnoyarsk, Russian Federation, 2021, p. 12172.
- [21] Sergeevichev A., Kushnerev V., Sergeevichev V., Sokolova V., Onegin V. Analysis of the influence of instrumental and regime factors on the quality of wood grinding. *J. of Physics: Conference Series*. International Scientific Conference «Conference on Applied Physics, Information Technologies and Engineering – APITECH-2019». Krasnoyarsk Science and Technology City Hall of the Russian Union of Scientific and Engineering Associations; Polytechnical Institute of Siberian Federal University, 2019, p. 44043.
- [22] Slyusarskiy K.V., Larionov K.B., Gubin V.E. The complex research on the technical conditions of energy application of wood pyrolysis bio-oil. *Sustainable And Efficient Use Of Energy, Water And Natural Resources (SEWAN – 2021)*. St. Petersburg, 2021, pp. 104–105.
- [23] Shishmareva A.V., Moiseeva E.E. Complex processing assessment of wood waste of the Krasnoyarsk region forestry complex. *European Proceedings of Social and Behavioural Sciences EpSBS*. Krasnoyarsk Science and Technology City Hall. Krasnoyarsk, 2020, pp. 258–268.
- [24] Larionov K.B., Slyusarskiy K.V., Kirgina M.V., Gvozdyakov D.V., Zenkov A.V., Bogdanov I.A., Kaltaev A.Z., Gubin V.E. The complex research on the technical conditions of energy application of wood pyrolysis bio-oil. *Energy, Ecology and Environment*, 2022, no. 3, p. 245.
- [25] Jarman S. Processed wood can be moulded into complex 3d structures. *Physics World*, 2022, no. 35(1), p. 711.
- [26] Sereda T.G., Kostarev S.N. Modeling of industrial stream and resources of machine-building enterpriser complex of wood preparation. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2018, p. 22094.
- [27] Zav'yalov M.V. *Mekhanizm gosudarstvennoy politiki v protsesse upravleniya ustoychivym razvitiem klastera lesopromyshlennoy sfery* [The mechanism of state policy in the process of managing the sustainable development of the forest industry cluster]. *Regional'naya ekonomika i upravlenie* [Regional Economy and Management], 2020, no. 4 (64), p. 5.

- [28] Tret'yakov A.G., Mayorov I.G. *Modernizatsiya lesnogo planirovaniya* [Modernization of forest planning]. Trudy Sankt-Peterburgskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta lesnogo khozyaystva [Proceedings of the St. Petersburg Forestry Research Institute], 2023, no. 1, pp. 70–81.
- [29] Zyryanov M.A., Chistova N.G., Aksenov N.V., Shinkevich I.V., Matygulina V.N. *Ustroystvo dlya fibrillirovaniya i separirovaniya voloknistykh materialov* [Device for fibrillation and separation of fibrous materials]. Patent No. RU 2657685 C2 RF D21D 1/00. no. 2016119217; declared. 17.05.2016; publ. 14.06.2018, Bulletin no. 17, 10 p.
- [30] Zyryanov M.A. *Poluchenie polufabrikatov v odnu stupen' razmola dlya proizvodstva drevesnovoloknistykh plit mokrym sposobom* [Obtaining semi-finished products in one grinding stage for the production of fiberboards by the wet method]. Dis. Cand. Sci. (Tech.) 05.21.03. Krasnoyarsk, 2012. 171 p.
- [31] Chistova N.G. *Pererabotka drevesnykh otkhodov v tekhnologicheskoy protsesse polucheniya drevesnovoloknistykh plit* [Processing of wood waste in the technological process of obtaining fiberboards]. Dis. Dr. Sci. (Tech.), 05.21.03. Krasnoyarsk, 2010, 415 p.
- [32] Nabieva A.A., Alashkevich Yu.D., Kovalev V.I. *Analiz formirovaniya tekhnologicheskikh parametrov nozhevykh razmalyvayushchikh garnitur* [Analysis of the formation of technological parameters of knife grinding sets]. Khimiya rastitel'nogo syr'ya [Chemistry of plant raw materials], 2009, no. 3, pp. 169–172.
- [33] Osipova I.V. *Razrabotka metodiki rascheta pokazateley otsenki effektivnosti vnedreniya novogo oborudovaniya* [Development of a methodology for calculating indicators for assessing the effectiveness of the introduction of new equipment]. Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Ekonomika. Sotsiologiya. Menedzhment [Bulletin of the South-West State University. Series: Economics. Sociology. Management], 2015, no. 4 (17), pp. 203–207.
- [34] Morkovina S.S., Panyavina E.A., Tseplyaev A.N. *Innovatsionnye tekhnologii v lesnom khozyaystve regionov: ekonomicheskiy aspekt* [Innovative technologies in forestry of the regions: economic aspect]. Vestnik Akademii znaniy [Bulletin of the Academy of Knowledge], 2020, no. 41 (6), pp. 206–215.
- [35] Rudakova T.A., Semikolenova M.N., Rakshina N.A. *Kal'kulirovanie sebestoimosti produktsii lesnogo khozyaystva* [Calculation of the cost of forestry products]. Sotsial'no-ekonomicheskiy i gumanitarnyy zhurnal [Socio-economic and humanitarian J.], 2017, no. 1(5), pp. 151–165.

The research was supported by the grant of the Russian Science Foundation №22-78-10002, <https://rscf.ru/project/22-78-10002/>.

Authors' information

Zyryanov Mikhail Alekseevich  — Cand. Sci. (Tech.), Associate Professor, Researcher of the Reshetnev Siberian State University of Science and Technology, zyryanov13@mail.ru

Medvedev Sergey Olegovich — Cand. Sci. (Economy), Senior Researcher of the Reshetnev Siberian State University of Science and Technology, medvedev_serega@mail.ru

Mokhirev Aleksandr Petrovich — Dr. Sci. (Tech.), Senior Researcher of the Reshetnev Siberian State University of Science and Technology, ale-mokhirev@yandex.ru

Received 13.02.2024.

Approved after review 01.04.2024.

Accepted for publication 05.09.2024.

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