

К определению конструктивных параметров малогабаритной рубительной машины для переработки отходов пиления

А.В. Князев^{1а}, Н.А. Бородин^{1б}, А.Ю. Мануковский^{1с}, В.В. Ткачев^{1д}, Е.В. Поздняков^{1е},
Л.В. Брындина^{1ф}, В.А. Иванов^{2г}

¹ Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова, ул. Тимирязева, 8, Воронеж, Россия

² Братский государственный университет», ул. Макаренко, 40, г. Братск, Иркутская область, Россия

^а mashina.76@mail.ru, ^б Borodinnikol2014@mail.ru, ^с mayu1964@mail.ru, ^д tka4iov.v@yandex.ru,

^е pozd.ev@yandex.ru, ^ф bryndinv@mail.ru, ^г ivanovva55@mail.ru

^а <https://orcid.org/0000-0002-3305-7850>, ^б <https://orcid.org/0000-0003-3561-1111>,

^с <https://orcid.org/0009-0002-0945-6074>, ^д <https://orcid.org/0000-0003-4289-6581>,

^е <https://orcid.org/0000-0003-3904-867x>, ^ф <https://orcid.org/0000-0001-2345-6789>,

^г <https://orcid.org/0000-0003-0707-972x>

Статья поступила 18.07.2025, принята 10.09.2025

Переработка отходов лесопиления и их рациональное использование позволит значительно снизить загрязнение окружающей среды углекислым газом, который образуется при их сгорании. После измельчения опилки могут использоваться для производства пеллетов, которые являются достойным конкурентом солярке, углю и дровам. Это небольшие цилиндрической формы гранулы, которые используются для сжигания в специализированных отопительных котлах. Способствует этому экологичность (это спрессованные отходы деревообработки и растениеводства) и возможность автоматизировать процесс отопления: гранулы сыпучи, что дает возможность хранить их в резервуарах и автоматически, по мере необходимости, подавать в котёл. Диаметр пеллет, используемых для бытовых котлов, – 6–8 мм, в промышленных котлах сжигаются более крупные гранулы диаметром до 10 мм. Длина вообще может быть от 5 до 70 мм. Установлено, что для обоснования конструкции рубильной машины необходимо рассмотреть рабочие процессы вала, пильных дисков, и выполнить их математическое моделирование. Представлена расчётная схема к расчёту на прочность вала рубильной машины и эюры моментов, а также силы резания и многоугольник сил при обработке заготовки максимального размера. Указано на то, что выбор дисков для машины зависит в основном от твёрдости породы древесины. Прочностные качества дисков будут низкими, если толщина будет незначительная, а вибрация и деформация высокими. Определено то, что надо учитывать и форму зуба пильного диска, которая зависит от породы порубочных остатков, видов реза. Исходя из вышесказанного, следует отметить, что использование отходов лесопиления для измельчения и производства пеллетов позволит обеспечить жильё экономным отоплением, так как эта задача не из лёгких, но её решение вполне реально. Особенно это интересно для небольших предприятий, кто имеет возможность получения сырья для их производства не очень дорого.

Ключевые слова: рубительная машина; рабочие органы; рабочие элементы; пильные диски; древесные отходы; опилки; пеллеты.

Determination of the design parameters of a small-sized chipping machine for processing sawmill waste

A.V. Knyazev^{1а}, N.A. Borodin^{1б}, A.Yu. Manukovsky^{1с}, V.V. Tkachev^{1д}, E.V. Pozdnyakov^{1е},
L.V. Bryndina^{1ф}, V.A. Ivanov^{2г}

¹ Voronezh State Forest Engineering University named after G.F. Morozov; 8, Timiryazev St., Voronezh, Russia

² Bratsk State University; 40, Makarenko St., Bratsk, Russia

^а mashina.76@mail.ru, ^б Borodinnikol2014@mail.ru, ^с mayu1964@mail.ru, ^д tka4iov.v@yandex.ru, ^е pozd.ev@yandex.ru,

^ф bryndinv@mail.ru, ^г ivanovva55@mail.ru

^а <https://orcid.org/0000-0002-3305-7850>, ^б <https://orcid.org/0000-0003-3561-1111>,

^с <https://orcid.org/0009-0002-0945-6074>, ^д <https://orcid.org/0000-0003-4289-6581>,

^е <https://orcid.org/0000-0003-3904-867x>, ^ф <https://orcid.org/0000-0001-2345-6789>,

^г <https://orcid.org/0000-0003-0707-972x>

Received 18.07.2025, accepted 10.09.2025

Recycling sawmill waste and its rational use will significantly reduce environmental pollution from carbon dioxide, which is produced during its combustion. After grinding, sawdust can be used to produce pellets, which are a worthy competitor to diesel fuel, coal, and firewood. These small cylindrical granules are used for combustion in specialized heating boilers. This is facilitated by their environmental friendliness (they are compressed wood processing and plant waste) and the ability to automate the heating process: the granules are free-flowing, which makes it possible to store them in tanks and, automatically, as needed, feed them into the boiler. The

diameter of pellets used for domestic boilers is 6–8 mm; in industrial boilers larger pellets with a diameter of up to 10 mm are burned. The length can generally be from 5 to 70 mm. It is established that in order to substantiate the design of a chipping machine, it is necessary to consider the working processes of the shaft, saw blades, and perform their mathematical modeling. A calculation scheme for calculating the strength of the chipping machine shaft and the moment diagrams, as well as the cutting force and the force polygon when processing a maximum-sized workpiece, are presented. It is indicated that the choice of disks for the machine depends mainly on the hardness of the wood species. The strength qualities of the disks will be low if their thickness is not significant, and vibration and deformation are high. It is determined that it is necessary to take into account the shape of the saw blade tooth, which depends on the type of logging residues, types of cutting. Based on the above, it should be noted that the use of sawmill waste for grinding and producing pellets will provide housing with economical heating, since this is not an easy task, but its solution is quite realistic. This is especially interesting for small businesses that can obtain raw materials for their production at low cost.

Keywords: chipper; working parts; working elements; saw blades; wood waste; sawdust; pellets.

Введение. Отмечено, что на сегодняшний день в нашей стране существует достаточное количество конструкций рубительных машин для переработки древесных отходов, которые имеют разные конструктивно-технологические параметры. Значительная доля продукции лесопромышленного комплекса производится из технологической щепы. Древесные плиты различного назначения, а также топливная щепка (топливные пеллеты) [1, 2] относятся к продукции целлюлозно-бумажной промышленности. При организации процесса измельчения древесного сырья особое значение для малых предприятий приобретают исследования по разработке конструкций рубильных машин и безотходных технологий, что обеспечивает полное использование остатков лесопиления. Технологический процесс получения частиц, обеспечивающих производство технологической щепы требуемого качества, требует минимальных затрат, прежде всего, энергетических. Но на сегодняшний день реально существующей малогабаритной рубительной машины с усовершенствованным рабочим органом в виде набора пильных дисков нет. Поэтому работа по созданию и усовершенствованию машины для измельчения отходов лесопиления, которая вписывается в новые технологии, остается актуальной.

Размер опилок, которые получают в процессе обработки отходов лесопиления, во многом зависит от нескольких факторов: сорта древесины, типа исходного сырья, влажности сырья, рабочего органа и т. д. Размер щепы на большинстве машин рубительного типа регулируется. Регулировка размера щепы производится за счет увеличения или уменьшения расстояния между кромкой рабочего органа и ножевым диском. При соответствующей регулировке размер щепы, которая осуществляется на данных рубильных машинах, должна отвечать требованиям ГОСТ 15815-83. «Щепа технологическая. Технические условия» [3].

В зависимости от конструкции рубильной машины возможность регулировки размера щепы либо предусмотрена, либо не предусмотрена.

Следует отметить, что одним из важных и наиболее основных элементов предлагаемой малогабаритной рубительной машины является рабочий механизм, непосредственно измельчающий небольшие ветки и отходы лесопиления в опилки, с последующим применением их в качестве сырья для изготовления топливных пеллет. При организации процесса измельчения древесного сырья особое значение для малых предприятий приобретают исследования по разработке конструкций рубильных машин и безотходных техно-

логий, что обеспечивает полное использование остатков лесопиления. Технологический процесс получения частиц, обеспечивающих производство технологической щепы требуемого качества, требует минимальных затрат и, прежде всего, энергетических.

Переработка отходов лесопиления и их рациональное использование позволит значительно снизить загрязнение окружающей среды углекислым газом, который образуется при их сгорании. Поэтому существует необходимость в обосновании конструктивно-технологических параметров, проектировании и создании малогабаритной машины для измельчения отходов в лесопилении.

Материалы и методы. Экспериментальный образец измельчителя древесных пород состоит из рамы, сваренной конструкции из стальных уголков, двигателя, ременной передачи, двух шкивов, вала на котором установлен рабочий режущий орган в виде набора дисковых пил, кожуха с загрузочным окном и выпускного окна. Для измельчителя была сварена рама, которая крепилась на штанге мотоблока, могла перемещаться вдоль неё (для натяжения приводного ремня) и фиксировалась двумя болтами.

На раму приварен специальный упорный брус (профиль) на уровне оси измельчителя, в который упирается измельчаемый предмет (горбыль) при измельчении.

Чтобы измельчённый продукт не разлетался, снизу режущего блока сделан кожух. Такой же кожух, но побольше и раструбом (приёмный бункер) сделан и сверху.

Техническая характеристика разрабатываемой малогабаритной машины для измельчения древесных отходов представлена в табл. 1. При обосновании конструктивных параметров рубильной машины необходимо учитывать конструкцию вала, на котором установлены пильные диски в качестве рабочего органа, а также решён вопрос о передаче крутящего момента, а также конструкция концевых участков валов. Диаметры концов вала согласуются с диаметрами отверстий устанавливаемых на нём шкива. Основным критерием работоспособности данного вала является его прочность [4].

На вал рубильной машины в вертикальной плоскости действуют силы тяжести вала G_v , ножевого диска G_d , а также ведомого шкива клиноременной передачи G . Учитывая, что вал рубильной машины имеет относительно небольшую длину, вес вала можно представить в виде сосредоточенной силы.

В процессе работы рубильной машины возникает сила резания P_r , направление действия которой зависит от угла наклона питателя и его расположения относительно горизонтальной оси ножевого диска. При обработке заготовки максимального диаметра в зоне рубки задействованы одновременно все установленные на валу машины ножи. При этом реакция со стороны усилия резания, действующая на каждый нож P_{p1} , P_{p2} , P_{p3} определяется удельным усилием резания и длиной участка ножей, взаимодействующих с заготовкой.

Общую силу резания P_r достаточно удобно определять, построив в соответствующем масштабе многоугольник сил $P_r = P_{p1} + P_{p2} + P_{p3}$. Разложив вектор P_r на составляющие, получим соответственно вертикальную силу P_r^B и горизонтальную силу $P_r^Г$. Ввиду того, что вертикальная составляющая P_r^B направлена в сторону противоположную силе тяжести, она способствует уменьшению общей нагрузки на вал. Поэтому рабочую нагрузку следует учитывать при условии, когда P_r^B примерно в 2 раза превышает весовую нагрузку. В другом случае расчёт необходимо вести для так называемого режима холостого хода, когда действуют только весовые нагрузки.

Исходя из конструкции проектируемой рубильной машины, очевидно, что на вал действует также крутящий момент, передаваемый на него от электродвигателя через клиноременную передачу.

Расчётный эквивалентный (суммарный) момент можно определить по формуле [5]:

$$M_{расч} = \sqrt{M_{и}^2 + 0,75 T^2}, \quad (1)$$

где T – крутящий момент на валу, Нм; $M_{и}$ – наибольший изгибающий момент, Нм.

По величине эквивалентного момента определяют диаметр вала при действии изгиба и кручения.

Диаметр вала в опасном сечении определяется из условия прочности на изгиб:

$$W \leq [\sigma_{и}], \quad (2)$$

где $W = 0,1 d^3$ – осевой момент сопротивления сечения вала; $[\sigma_{и}]$ – допускаемое напряжение на изгиб, $[\sigma_{и}] = 55$ МПа.

На основании вышеизложенного, диаметр вала:

$$d \geq \sqrt[3]{M_{расч} / (0,1 [\sigma_{и}])}. \quad (3)$$

Диаметр участка вала под ведомым шкивом клиноременной передачи определяется по формуле $d \geq$

$$\sqrt[3]{T_{max} / (0,2 [\tau_{кр}])}, \quad (4)$$

где $[\tau_{кр}]$ – допускаемые напряжения кручения, МПа.

Полученное значение диаметра подлежит округлению до ближайшего большего числа из стандартного ряда. После выполнения предварительного расчёта проводится уточнённый расчёт вала на усталостную прочность по коэффициенту запаса прочности.

Приступая к расчёту на усталостную прочность, выбираем опасное сечение вала, которое подлежит

проверке (в нашем случае – в месте действия максимального изгибающего момента).

Для опасного сечения общий коэффициент запаса прочности определяется по формуле:

$$S = \frac{S_{\sigma} \cdot S_{\tau}}{\sqrt{S_{\sigma}^2 + S_{\tau}^2}} \geq [S], \quad (5)$$

где S_{σ} – коэффициент запаса прочности по изгибу; S_{τ} – коэффициент запаса прочности по кручению; $[S]$ – допустимое значение общего коэффициента запаса прочности, $[S] = 2,5$.

Коэффициенты S_{σ} , S_{τ} , в свою очередь, соответственно можно определить следующим образом:

$$S_{\sigma} = \frac{\sigma_{-1}}{\sigma_a \cdot \frac{K_{\sigma}}{\beta \cdot \epsilon_{\sigma}} + \psi_{\sigma} \cdot \sigma_m}, \quad (6)$$

$$S_{\tau} = \frac{\tau_{-1}}{\tau_a \cdot \frac{K_{\tau}}{\beta \cdot \epsilon_{\tau}} + \psi_{\tau} \cdot \tau_m}, \quad (7)$$

где σ_{-1} , τ_{-1} – пределы выносливости соответственно при изгибе и кручении, определяемые в зависимости от величины предела прочности материала σ_b : $\sigma_{-1} = (0,4 \dots 0,5) \sigma_b$; $\tau_{-1} = (0,4 \dots 0,5) \tau_a$, (9)

где σ_a , τ_a – амплитуды переменных составляющих циклов напряжений

$$\sigma_a = \frac{M}{W_{нетто}}; \quad \tau_a = \frac{T}{2 W_{Кнетто}}, \quad (10)$$

где $W_{нетто}$, $W_{Кнетто}$ – соответственно моменты сопротивления сечения вала изгибу и кручению (без учёта шпоночного паза), вычисляемые по формулам:

$$W_{нетто} = \frac{\pi \cdot d^3}{32} - \frac{b \cdot t_1 \cdot (d - t_1)^2}{2 \cdot d}, \quad (11)$$

$$W_{Кнетто} = \frac{\pi \cdot d^3}{16} - \frac{b \cdot t_1 \cdot (d - t_1)^2}{2 \cdot d}, \quad (12)$$

где b – ширина шпоночного паза, мм; t_1 – глубина шпоночного паза, мм; K_{σ} , K_{τ} – коэффициенты концентрации напряжений при изгибе и кручении соответственно; β – коэффициент шероховатости поверхности (для сталей: $\beta = 0,99$); ϵ_{σ} , ϵ_{τ} – масштабные факторы изгиба и кручения, выбираемые в зависимости от диаметра вала в опасном сечении и его материала; ψ_{σ} , ψ_{τ} – коэффициенты асимметрии циклов напряжений на изгиб и кручение соответственно (для вала из легированной стали можно принять $\psi_{\sigma} = 0,1$, $\psi_{\tau} = 0,05$); σ_m , τ_m – средние значения напряжений изгиба и кручения, МПа.

При расчёте вала на жесткость определяется величина наибольшего прогиба, угла наклона упругой линии и угла закручивания [5]. Полученные значения сопоставляются с допускаемыми, которые для проектируемого вала рубильной машины рекомендуется принимать следующими: допускаемый максимальный прогиб $[y] = 0,0002L$, (где L – расстояние между подшипниками), допускаемый угол наклона упругой линии $[\Theta] = 0,05$ рад; допускаемый угол закручивания $[\varphi] < 0,25^\circ$ на 1 погонный метр длины вала. После расчёта разрабатывается вал.

Таблица 1. Техническая характеристика разрабатываемой малогабаритной машины для измельчения древесных отходов

№ п/п	НАИМЕНОВАНИЕ	
1	Тип измельчителя	дисковый
2	Количество дисков, шт.	30
3	Фракция щепы, мм	0,5–2
4	Размер приемного окна, мм	70–140
5	Обороты рабочего органа, об/мин	2800
6	Мощность электродвигателя, кВт	3,5
7	Масса измельчителя, кг	87
8	Производительность, кг/ч	110
9	Передача вращения от двигателя к рабочему органу	ременная
10	Габаритные размеры, мм: длина ширина высота	1000 500 600

Материалы и методы. Для измельчения отходов лесопиления современные рубильные машины (рис. 1) имеют значительные габаритные размеры, где в качестве режущего инструмента применяют барабаны, диски, шнеки, резцы и т. д. Их недостаток в том, что они позволяют измельчить материал до размеров щепы. Размеры щепы не позволяют сформировать пилеты для дальнейшего их использования. По мобильности рубильные машины подразделяются на передвижные, самоходные и стационарные, что так же отрицательно сказывается для организаций с малым объёмом отходов переработки [7]. При создании мобильной рубильной машины с усовершенствованным рабочим органом в виде обычных пильных дисков. На этапе разработки, а затем проектирования рубильной машины для измельчения отходов лесопиления, где в качестве режущего рабочего органа используются пильные диски, учитывались размерные параметры пильного диска, толщина дисков, количество и форма его зубьев, особенности геометрии зубьев диска [2]. Рубильная машина состоит из сварной рамы, электродвигателя, ременной передачи, рабочего органа (в виде пильных дисков), подающего бункера, блока питания и выпускного коллектора. Малогабаритная машина работает следующим образом: древесные отходы (горбыль) для измельчения в мелкозернистую фракцию подают в загрузочное окно, расположенное на кожухе. Под воздействием центробежных сил происходит подача горбыля к рабочему органу, вращающимся с большой частотой. В результате этого происходит измельчение древесных отходов в опилки. Древесина (рис. 2) во время дробления находится в непрерывном контакте с режущими дисками. Получаемый продукт (опилки) выбрасывается через выпускное окно измельчителя в приёмный лоток.

В процентном соотношении переработка дерева на небольшой пилораме дает на выходе до 65 % сырьевой продукции [15]. Оставшиеся 30–35% это отходы, из них горбыль 16 %, опилок 14 %, мелочи и срезки 7–8 %, остальное – это кора.

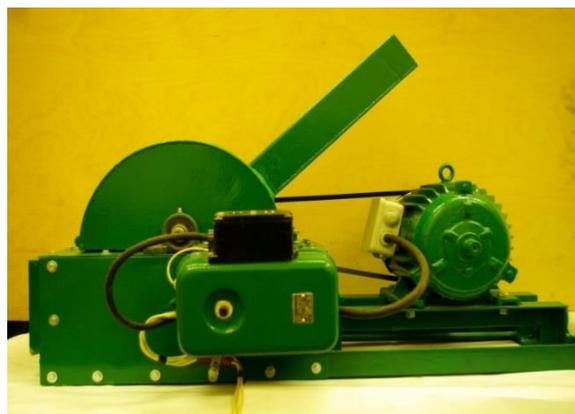


Рис. 1. Рубильная машина

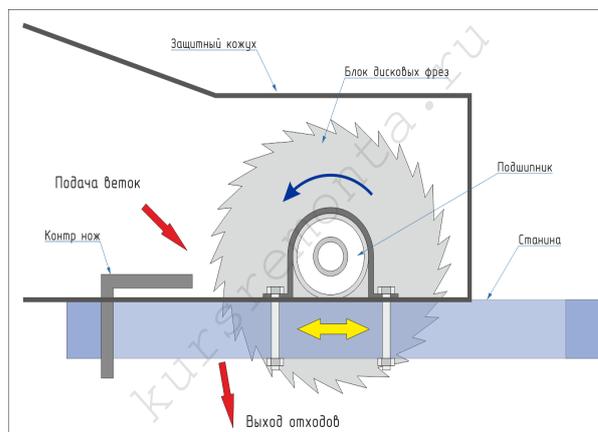


Рис. 2. Дробление древесины

Результаты. В качестве режущего рабочего органа для измельчения отходов лесопиления, применяемые в малогабаритной рубильной машине, можно использовать разного вида пильные диски в зависимости от их назначения [7]. Такие пильные диски могут быть монолитные и твёрдосплавные.

Монолитные диски со скошенными разведёнными зубьями, с большим количеством зубьев имеют невысокую цену, что делает их более популярными. Они легко ремонтируются, их заточка может выполняться самостоятельно. Изготавливаются из высокоуглеродистой стали высокой прочности. Твёрдосплавные диски могут длительный период времени работать без заточки. Основа диска изготовлена из стали инструментального типа, а зубцы – твёрдосплавные, но их обслуживанием должен заниматься специалист с опытом выполнения подобных работ. Также при выборе режущего инструмента надо принимать во внимание различные параметры, такие как внешний диаметр диска, он ограничивается и зависит от размера места защитного кожуха. Посадочный диаметр режущего диска характеризует его внутренний диаметр, а количество зубьев диска влияет на скорость и качество выполняемой задачи. Чем больше количество зубьев, тем медленнее, но качественнее происходит процесс [8].

При выборе пильного диска также надо учитывать его толщину, она может быть сравнительно больших размеров, учитывая то, что к ней добавится разводка зубьев.

Диск надо выбирать в зависимости от твёрдости пород древесины, так как на слишком тонкий диск нагрузки могут быть значительными, что может привести к его перегреву и деформации, то есть прочностные качества диска будут значительно снижены. Вибрация, а вследствие и биение при использовании тонких дисков также присутствует. Срок службы у них может быть меньше [10, 11, 12].

Плюсом для тонких дисков является то, что при их использовании расходуется меньше энергии.

При установке на вал большого количества дисков, между ними необходимо установить шайбы, толщина которых должна соответствовать величине зазора, чтобы рабочий орган был без промежутков, иначе диски будут просто пилить порубочные остатки [14].

Форму зуба пильного диска также надо учитывать, в нашем случае она зависит от того, какие породы по-

рубочных остатков надо обрабатывать и какие будутрезы: продольные или поперечные.

Обсуждение и заключение. В заключение можно отметить, что проектирование и создание малогабаритной установки для измельчения отходов лесопиления с использованием в качестве рабочего органа пильных дисков поможет переработать до 35 % отходов. При этом возможно будет получить измельчённый материал (опилки), который в последствии станет применяться в качестве основы для изготовления пеллет (гранул), как наиболее дешёвый твёрдый вид топлива. Исходя из вышесказанного, следует отметить, что использование отходов лесопиления для измельчения и производства пеллетов позволит обеспечить жильё экономным отоплением, так как эта задача не из легких, но её решение вполне реально. Особенно это интересно для небольших предприятий, которые имеют возможность получения сырья для их производства не очень дорого.

Литература

- Анисимов П.Н. Обоснование параметров конструкции и режима работы машины для заготовки щепы на лесосеке : автореф. дис. канд. техн. наук : 05.21.01 / П.Н. Анисимов ; Поволж. гос. технол. ун-т. – Йошкар-Ола, 2017. – 18 с.
- Бурлаков А.С. Теоретическое обоснование осн. конструктивно-технологических параметров устройства для изм. порубочных остатков [Текст] / А.С. Бурлаков, С.В. Фокин // Инновационная деятельность. – 2011. – № 4. – С. 123–130.
- Германович А.О. Оценка влияния различных факторов на производительность мобильной рубильной машины / А.О. Германович // Труды БГТУ. – 2014. – № 2: Лесная и деревообработ. пром-сть. – С. 20–23.
- Германович А.О. Анализ сменной производительности мобильных рубильных машин / А.О. Германович, В.Н. Лой // Механика технологических процессов в лесном комплексе: Междунар. науч.-техн. конф., Воронеж, 25–27 мар. 2014 г. / Воронеж. гос. лесотехн. акад. – Воронеж, 2014. – С. 50–54.
- Гончаров В.Н. Основы теории и расчета оборудования для подготовки бумажной массы, Часть 2. Рубильные машины : учеб. пособие / В.Н. Гончаров, А.А. Гаузе, М.В. Аввакумов. – СПбГТУРП. – СПб., 2012. – 50 с.
- Князев А.В. Совершенствование конструкции рубильной машины с использованием пильных дисков в качестве режущего рабочего органа для измельчения отходов лесопиления / А.В. Князев, Н.А. Бородин // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. – 2018. – Т. 6. – № 4 (40). – С. 170–172.
- Малюков С.В. Анализ конструкций и режимов работы дисковых рубильных машин / С.В. Малюков, А.А. Аксенов, М.А. Малюкова // Лесотехнический журнал. – 2021. – Т. 11. – № 4 (44). – С. 139–149. – DOI:10.34220/issn.2222-7962/2021.4/12.
- Fokin S. On technical means of obtaining wood chips, as a way to increase soil fertility / S. Fokin , D. Eskov, P. Medvedeva, O. Shportko, O. Fomina // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. – 2021. – Vol. 723. – Issue 4. – 042025. – DOI: 10.1088/1755-1315/723/4/042025.
- Laitila J. Selection of a chipper technology for small-scale operations – a Finnish case / J. Laitila, R. Prinz, L. Sikanen // Journal of Forest Science. – 2019. – Vol. 65. – Issue 4. – pp. 121-133. – DOI: 10.17221/26/2019-JFS.
- Spinelli R. Trends and perspectives in the design of mobile wood chippers / R. Spinelli, E. Marchi // Croatian Journal of Forest Engineering. – 2021. – Vol. 42. – Issue 1. – pp. 25–38. – DOI: 10.5552/crojfe.2021.787.
- Fomina O. On technical means of obtaining wood chips, as a way to increase soil fertility / S. Fokin , D. Eskov, P. Medvedeva, O. Shportko, O. Fomina // 2021 IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci. 723 042025
- Dahl O. Effect of raw wood supply system on the wood paying capability of a kraft pulp mill using Scots pine/ O. Dahl, P. Jylhä, J. Laitila, K. Kärhä // Finbio, Julkaisu. 2005. 44. – pp 371–379.
- Baker S.A. Fuels characteristics of woods-run whole tree southern pinechips / S.A. Baker, W.D. Greene, A. Wilson // Biomass and Bioenergy 37, 2012. – pp. 67–72.
- Esteban B. Environmental assessment of small-scale production of wood chips as a fuel for residential heating boilers / B. Esteban, J.R. Riba, G. Baquero, R. Puig, A. Rius // Renewable Energy. – 2014. Т. 62. – pp. 106–115.
- Reczulski M. Optimization of cutting speed and clearance angle in the disc chipper / M. Reczulski // Wood Research. – 2021. – Vol. 65. – Issue 6. – pp. 951–962. – DOI: 10.37763/WR.1336-4561/65.6.951962.

References

- Anisimov P.N. Justification of the design parameters and operating mode of the machine for harvesting chips in the logging area: abstract of the dissertation. Candidate of Technical Sciences: 05.21.01 / P.N. Anisimov // Volga region state technological university. – Yoshkar–Ola, 2017. – 18 p.
- Burlakov, A.S. Theoretical justification of the main design and technological parameters of the device for measuring logging residues [Text] / S.V. Fokin, A.S. Burlakov // Innovative activity. – 2011. – №4 – P.123–130 (1.0 / 0.5 printed sheets).
- Germanovich, A.O. Assessment of the influence of various factors on the productivity of a mobile chipping machine / A.O. Germanovich // Proceedings of BSTU. – 2014. – No. 2: Forest and woodworking industry. – P. 20–23.
- Germanovich, A.O. Analysis of shift productivity of mobile chipping machines / A.O. Germanovich, V.N. Loy // Mechanics of technological processes in the forestry complex: Int. scientific and technical conf., Voronezh, March 25–27, 2014 / Voronezh. state forestry academy. – Voronezh, 2014. – P. 50–54.
- Goncharov, V.N. Fundamentals of the theory and calculation of equipment for the preparation of paper pulp, Part 2. Chippers: a tutorial / V.N. Goncharov, A.A. Gauze, M.V. Avvakumov, SPbGTURP, – SPb., 2012– 50 p.

6. Knyazev, A.V. Improving the design of a chipping machine using saw blades as a cutting working element for crushing sawmill waste / A.V. Knyazev, N.A. Borodin // *Current areas of scientific research in the 21st century: theory and practice.* – 2018. – vol. 6. – № 4 (40). – P. 170–172.
7. Malyukov, S.V. Analysis of designs and operating modes of disc chipping machines / S.V. Malyukov, A.A. Aksenov, M.A. Malyukova // *Forestry journal.* – 2021. – Vol. 11. – No. 4 (44). – P. 139–149. – DOI: 10.34220/issn.2222–62/2021.4/12.
8. Fokin, S. On technical means of obtaining wood chips, as a way to increase soil fertility / S. Fokin, D. Eskov, P. Medvedeva, O. Shportko, O. Fomina // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science.* – 2021. – Vol. 723. – Issue 4. – 042025. – DOI: 10.1088/1755–1315/723/4/042025.
9. Laitila, J. Selection of a chipper technology for small–scale operations – a Finnish case / J. Laitila, R. Prinz, L. Sikanen // *Journal of Forest Science.* – 2019. – Vol. 65. – Issue 4. – pp. 121–133. – DOI: 10.17221/26/2019–JFS.
10. Spinelli, R. Trends and perspectives in the design of mobile wood chippers / R. Spinelli, E. Marchi // *Croatian Journal of Forest Engineering.* – 2021. – Vol. 42. – Issue 1. – pp. 25–38. – DOI: 10.5552/crojfe.2021.787.
11. Fomina O. On technical means of obtaining wood chips, as a way to increase soil fertility / S. Fokin, D. Eskov, P. Medvedeva, O. Shportko, O. Fomina // 2021 IOP Conf. Ser.: *Earth Environ. Sci.* 723 042025
12. Dahl O. Effect of raw wood supply system on the wood paying capability of a kraft pulp mill using Scots pine/ O. Dahl, P. Jylhä, J. Laitila, K. Kärhä // *Finbio, Julkaisu.* – 2005. 44. – pp. 371–379.
13. Baker S.A. Fuels characteristics of woods–run whole tree southern pine chips / S.A. Baker, W.D. Greene, A. Wilson // *Biomass and Bioenergy* 37, 2012. – pp. 67–72.
14. Esteban B. Environmental assessment of small–scale production of wood chips as a fuel for residential heating boilers /B. Esteban, J.R. Riba, G. Baquero, R. Puig, A. Rius // *Renewable Energy.* – 2014. T. 62, – pp. 106–115.
15. Reczulski, M. Optimization of cutting speed and clearance angle in the disc chipper / M. Reczulski // *Wood Research.* – 2021. – Vol. 65. – Issue 6. – pp. 951–962. – DOI: 10.37763/WR.1336–4561/65.6.951962.