

Математическое описание и физика процесса образования щепы при рубке круглых лесоматериалов

Б.М. Локштанов^{1а}, В.В. Орлов^{1б}, И.С. Фролов^{1с}, Д.А. Ильюшенко^{2д}, В.А. Иванов^{3е}

¹ Военная академия связи им. С.М. Буденного, пр. Тихорецкий, 3, Санкт-Петербург, Россия

² Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет им. С.М. Кирова, Институтский пер., 5, Санкт-Петербург, Россия

³ Братский государственный университет, ул. Макаренко, 40, Братск, Россия

^а blokshtanov@mail.ru, ^б artictvetal1987@gmail.com, ^с offfrolov@yandex.ru, ^д dilium@yandex.ru, ^е ivanovva55@mail.ru

^а <https://orcid.org/0000-0002-5390-1457>, ^б <https://orcid.org/0000-0002-1693-0515>, ^с <https://orcid.org/0000-0002-6738-2993>,

^д <https://orcid.org/0000-0002-7758-5110>, ^е <https://orcid.org/0000-0003-0707-972X>

Статья поступила 31.08.2022, принята 16.09.2022

В данной работе рассмотрены свойства древесины, позволяющие производить технологическую щепу при рубке ее на дисковых рубительных машинах. На базе математического описания физических явлений при взаимодействии ножа с круглым лесоматериалом описывается процесс образования шайбы, которая распадается на щепу. В зависимости от толщины шайбы (выпуска ножа относительно плоскости диска) получают соответствующую длину щепы. Установлены соотношения длины щепы и ее толщины в зависимости от свойств древесины и выпуска ножа. Представлены формулы для расчета параметров щепы в зависимости от наклона патрона рубительной машины и ее конструкции. Рассмотрен процесс взаимодействия ножей с круглым лесоматериалом, и даны расчеты для обеспечения непрерывной рубки древесины на щепу, обеспечивающей качественные показатели щепы. Представлены графические материалы, показывающие характер взаимодействия ножей с круглым лесоматериалом и процесс получения щепы. Даны формулы для расчета параметров диска рубительной машины, длины ножей и скорости рубки древесины на щепу. Приведен пример расчета мощности двигателя рубительной машины для получения технологической щепы с ее стандартными параметрами при заданной производительности рубительной машины, причем расчеты учитывают конструкцию рубительной машины, способ выброса щепы из зоны рубки и инерционные характеристики диска рубительной машины. В статье также рассмотрены вопросы получения мелкой щепы для производства прессованных древесных гранул (пеллет), что позволяет сократить технологический процесс производства. Приведенное математическое описание и физика процесса производства щепы позволяют конструировать новые рубительные машины высокой производительности с высоким качеством щепы.

Ключевые слова: древесина; щепка; рубительные машины; рубка; круглые лесоматериалы.

Mathematical description and physics of the process of chip formation during the cutting of round timber

B.M. Lokshtanov^{1а}, V.V. Orlov^{1б}, I.S. Frolov^{1с}, D.A. Ilyushenko^{2д}, V.A. Ivanov^{3е}

¹ Military Academy of Communication under name of S.M. Budenny; 3, Tikhoretsky Ave., St. Petersburg, Russia

² St. Petersburg State Forest Technical University under name of S.M. Kirov; 5, Institutsky Per., St. Petersburg, Russia

³ Bratsk State University; 40, Makarenko St., Bratsk, Russia

^а blokshtanov@mail.ru, ^б artictvetal1987@gmail.com, ^с offfrolov@yandex.ru, ^д dilium@yandex.ru, ^е ivanovva55@mail.ru

^а <https://orcid.org/0000-0002-5390-1457>, ^б <https://orcid.org/0000-0002-1693-0515>, ^с <https://orcid.org/0000-0002-6738-2993>,

^д <https://orcid.org/0000-0002-7758-5110>, ^е <https://orcid.org/0000-0003-0707-972X>

Received 31.08.2022, accepted 16.09.2022

In this paper, the properties of wood are considered, which make it possible to produce technological chips when cutting it on disk chippers. On the basis of the mathematical description of physical phenomena during the interaction of a knife with round timber, the process of formation of a washer, which breaks up into chips, is described. Depending on the thickness of the washer (the release of the knife relative to the plane of the disk), the corresponding length of the chips is obtained. The ratios of the length of the wood chips and its thickness are established depending on the properties of the wood and the release of the knife. Formulas for calculating the parameters of wood chips depending on the inclination of the chipper cartridge and its design are presented. The process of interaction of knives with round timber is considered and calculations are given to ensure continuous cutting of wood into chips, which ensures the quality indicators of chips. Graphic materials are presented showing the nature of the interaction of knives with round timber and the process of obtaining chips. Formulas are given for calculating the parameters of the chipper disk, the length of the knives and the speed of cutting wood into chips. An example of calculating the power of the chipper engine to produce technological chips with its standard parameters, with a given chipper performance, is given, and the calculations take into account the design of the chipper, the method of ejecting chips from the cutting zone and the inertial characteristics of the chipper disk. The article deals with the issues of obtaining small chips for the production of pressed wood pellets (pellets), which can reduce the technological process of production. The above

mathematical description and the physics of the woodchip production process make it possible to design new chippers with high productivity and high woodchip quality.

Keywords: wood; chips; chippers; felling; roundwood.

Введение. Древесина относится к волокнистым материалам с резко выраженными и отличающимися свойствами вдоль, поперек, в тангенциальном и других направлениях (рис. 1) [11]. Древесина довольно-таки легко поддается обработке — резанию вдоль волокон, пиленю поперек волокон, раскалыванию вдоль волокон и т. п., но самое интересное с точки зрения физики — это образование щепы при поперечной рубке. Это свойство древесины известно давно, даже есть пословица «лес рубят — щепки летят» (но эта пословица больше употребляется применительно к действиям руководителей организаций и даже государств).

При изучении процесса образования щепы нас интересует не только сам этот факт, а получение щепы с определенными размерами и в наибольшем количестве с единицы объема древесины. То, что мы можем из древесины получать щепу, позволяет расширять область использования древесины в промышленности, в сельском и лесном хозяйстве, и в различных областях деятельности человека, в том числе и для улучшения экологической обстановки в регионах и даже в мире.

Щепа из лесосечных отходов (ветки, сучья, вершины, ломаные деревья, мелкие деревья) используется в качестве топлива, что позволяет очистить лесосеку от отходов и получить тепловую энергию. Отходы от лесопиления (горбыли, рейки, бракованные доски, отрезки) также превращают в щепу и используют в производстве целлюлозы и древесной массы [20]. Щепу используют для очистки водоемов от нефтепродуктов, производства удобрений, получения различных водорастворимых веществ при гидролизе и т. д. [13].

Щепу используют для производства древесностружечных и древесноволокнистых плит. Наибольшее применение щепы связано с производством целлюлозы. Щепу для производства последних видов продукции называют технологической [8].

К технологической щепе предъявляют определенные требования по длине, толщине, качеству среза [8]. Эти требования связаны со скоростью пропитки щепы реагентами как вдоль, так и поперек волокон при варке ее на целлюлозу.

Технологическую щепу производят на рубительных машинах, дисковых или барабанных. Мы будем рассматривать процесс рубки круглых лесоматериалов (балансов диаметром от 6 до 40 см по ГОСТ [6; 7]), на дисковых рубительных машинах, так как барабанные рубительные машины больше предназначены для рубки лесоматериалов небольшой толщины (до 12 см) или для производства топливной щепы из лесоматериалов толщиной до 60 см.

Цель работы — рассмотреть процесс образования щепы на базе математического описания с учетом физических явлений и сделать обоснованные выводы по получению качественной щепы с наибольшим ее выходом.

Исследовательская часть. Дисковые рубительные машины включают массивный диск со встроеными в него рубительными ножами, а под ножами выполнены

подножевые щели [12]. Древесина (круглые лесоматериалы — балансы) по наклонному патрону поступает под действием сил тяжести к ножам. В патроне смонтирован контрнож. Зазор между контрножом и лезвиями ножей — в пределах 0,5–0,8 мм. Угол наклона патрона — пространственный: к горизонту — α_1 ; к вертикали α_2 ; скошенное дно патрона — α_3 [1; 5].

Каждый нож на диске отрезает (отрубает) кусок древесины — шайбу толщиной h , т. е. на величину выпуска ножей относительно плоскостной поверхности диска. В момент рубки происходит распад (расслоение) шайбы на щепу. Рассмотрим этот процесс [19].

При измельчении круглых лесоматериалов диаметром d , наклоненных под углом α_1 , отрубает шайбу в виде эллипса с осями $2a$ и $2b$ (рис. 1):

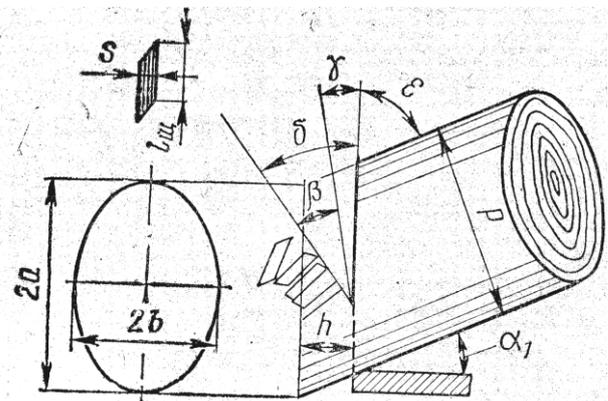


Рис. 1. Параметры рубки древесины на щепу ножом

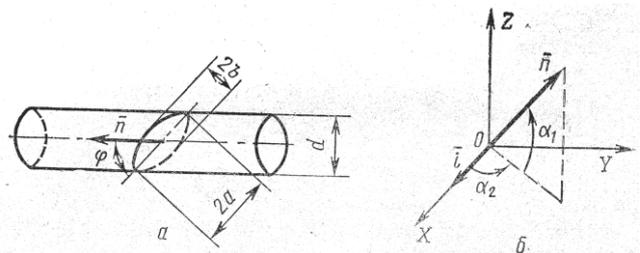


Рис. 2. Сечение бревна в плоскости рубки ножом

$$2a = d / \cos \alpha_1; \quad 2b = d. \quad (1)$$

Если рубка происходит под углом α_2 , то эллипс будет иметь оси:

$$2a = d / \cos \alpha_2; \quad 2b = d. \quad (2)$$

При рубке древесины под двумя углами α_1 и α_2 оси эллипса будут иметь размеры:

$$2a = d / (\cos \alpha_1 \cdot \cos \alpha_2); \quad 2b = d \quad (3)$$

Как видно из формул (1)–(3), малая ось эллипса шайбы (рис. 2, а) равна диаметру d , а большая ось $2a = d / \sin \varphi$ (угол φ между осью цилиндра и плоскостью сечения) (рис. 2, а). Единичный вектор направле-

ния оси бревна обозначим \vec{n} (рис. 2, б). Тогда проекции этого вектора на оси координат X, Y, Z будут:

$$\begin{aligned} n_x &= \vec{n} \cdot \cos \alpha_1 \cdot \cos \alpha_2; \\ n_y &= \vec{n} \cdot \sin \alpha_2 \cdot \cos \alpha_1; \quad n_z = \vec{n} \cdot \sin \alpha_1. \end{aligned} \quad (4)$$

Угол φ между вектором \vec{n} и плоскостью сечения (YOZ) (рис. 2) можно определить из формулы:

$$\sin \varphi = \cos(\vec{n}, \vec{i}) = \vec{n} \cdot \vec{i}, \quad (5)$$

где \vec{i} — единичный вектор по оси OX; $\vec{n} \cdot \vec{i}$ — скалярное произведение этих векторов.

Скалярное произведение $\vec{n} \cdot \vec{i} = n_x = \cos \alpha_1 \cos \alpha_2$, поэтому $\sin \varphi = \cos \alpha_1 \cos \alpha_2$ и большая ось эллипса $2a = d / (\cos \alpha_1 \cos \alpha_2)$, а меньшая $2b = d$, этим мы показали правильность вывода формулы (3).

Теперь рассмотрим, какие процессы происходят при отрубке шайбы от бревна. На рис. 1 показано, что при внедрении ножа в древесину поперек волокон происходит процесс расслоения (раскалывания) шайбы вдоль волокон древесины.

Если рассматривать сам процесс расслоения древесины вдоль волокон, то и при пилении древесины также происходит процесс расслоения древесины от зубьев пилы, но только в малых масштабах, и возникают опилки [14]. Следует отметить, что величина размера опилок, их длина и толщина при пилении зависят от толщины самой пилы и величины развода зубьев. Отметим известный технологический фактор. На Усть-Илимском лесопромышленном комплексе для продольного лесопиления используют специальные утолщенные пилы с целью получения опилок длиной 10–12 мм и толщиной 3–5 мм, которые используют для выработки целлюлозы в специальном варочном котле, что позволяет комплексно использовать древесину.

С другой стороны, можно рассмотреть и процесс получения щепы увеличенной длины при увеличении выпуска ножа h или вообще внедрить нож на расстоянии от торца бревна на 10–30 см и более. Мы получим

щепу? Расслоение древесины произойдет, но на регулируемую нами длину и толщину. Этот процесс мы наблюдаем при рубке древесины топором под углом к волокнам. Т. е. технологическую щепу с заданными размерами мы не получаем.

Для производства пеллет (прессованные древесные гранулы из древесной муки) используют опилки от лесопиления, которые сушат и измельчают до состояния муки [16].

Получение опилок из круглых лесоматериалов затруднено, но возможно: можно нарубить щепу, а затем раздробить ее до размера опилок [15]. Перескочить эту стадию получилось у фирмы Vecoplan, которая создала барабанную многоножевую рубительную машину с небольшим выпуском ножей, 3–4 мм, и с принудительной системой подачи сырья к ножам [9]. При этом получается очень мелкая щепа с размерами, близкими к размеру опилок, что позволяет быстро сушить ее в уже существующих сушильных аппаратах.

Следует отметить, что в зимних условиях, когда древесина промерзает, силы сопротивления древесины раскалыванию увеличиваются в несколько раз, что отражается на усилиях, прикладываемых к ножу, и мощности двигателя [17].

На качество щепы, кроме отмеченных углов α_1 и α_2 , большое влияние оказывает и процесс резания (рубки) древесины ножом.

Скорость резания ножа зависит от скорости вращения диска и от радиусов до начала лезвия ножа и конца лезвия ножа, т. е. от длины самого ножа и его расположения на диске [18]. Так как скорости резания у ножа будут разные, то нож «поворачивает» бревно, и конфигурация шайбы будет изменена, что отразится на качестве щепы. Чтобы предотвратить это явление, необходимо, чтобы в процессе резания (рубки) древесины участвовали как минимум два ножа (рис. 3) [2], т. е. процесс был непрерывным. Кроме того, в нижней части патрона машины делают продольные насечки или острые продольные выступы, чтобы избежать проворачивания бревна вдоль своей оси [3; 4].

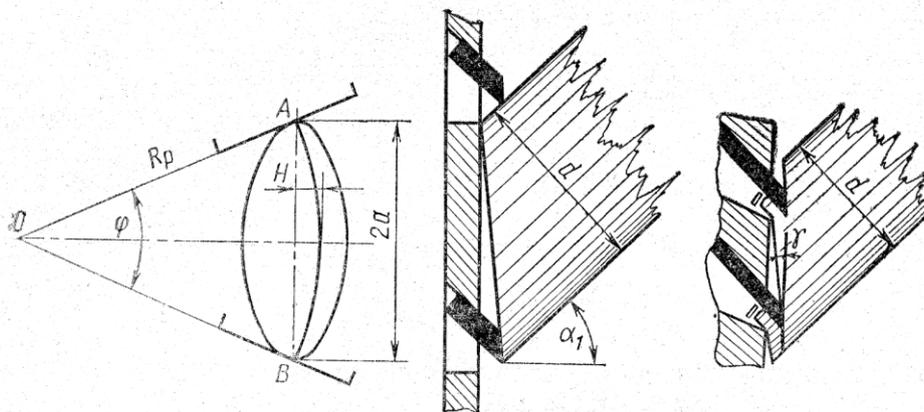


Рис. 3. Условие непрерывности рубки круглых лесоматериалов на щепу

Есть предложение в этом направлении, которое состоит в том, чтобы на наклонных листах диска машины выполнять острые дуговые выступы по окружности, которые впиваются в древесину, мешая ей повернуться [10].

Непрерывность резания древесины будет обеспечена при выполнении следующих соотношений (рис. 3):

$$2a \geq AB \quad \text{или} \quad \frac{d}{\cos \alpha_1} \geq \frac{R_p^2}{R_p - H} \sin \varphi,$$

где φ — угловое соотношение между ножами $\varphi = \frac{2\pi}{z}$; z — число ножей на диске; H — стрела дуги хорды сегмента:

$$H = R_p \left(1 - \cos \frac{\varphi}{2}\right).$$

Таким образом, условие непрерывности резания древесины примет вид:

$$d \geq 2R_p \cos \alpha_1 \sin \frac{\pi}{z} \quad \text{или} \quad R_p \leq \frac{d}{2 \cos \alpha_1 \cdot \sin \frac{\pi}{z}}.$$

Длина щепы $l_{щ}$, получаемой в процессе рубки древесины, зависит от углов наклона патрона машины α_1 и α_2 и от выступа ножа относительно плоскости диска h :

$$l_{щ} = h / (\cos \alpha_1 \cos \alpha_2).$$

Если патрон имеет один угол наклона α_1 (угол наклона к горизонтальной плоскости), то:

$$l'_{щ} = h / \cos \alpha_1.$$

Если патрон имеет один угол наклона патрона α_2 (угол наклона к вертикальной плоскости), то:

$$l''_{щ} = h / \cos \alpha_2.$$

Толщина щепы S зависит от свойств самой древесины. При одинаковых условиях при рубке березы щепа тоньше, чем у сосны.

Ножи диска, срезая в поперечном сечении слой древесины — шайбу, внедряются в древесину с некоторой переменной силой:

$$P = \int_{\varphi_1(\varphi)}^{\varphi_2(\varphi)} \rho d\varphi,$$

где ρ — удельное усилие резания; $\varphi_1(\varphi)$ и $\varphi_2(\varphi)$ — пределы изменения ширины резания (ширины шайбы).

Работа резания для отделения одной шайбы будет:

$$A = \int_{\varphi_1}^{\varphi_2} \rho R_p d\varphi \quad \text{или} \quad A = p \int_{\varphi_1}^{\varphi_2} R_p d\varphi \int_{\varphi_1(\varphi)}^{\varphi_2(\varphi)} d\varphi,$$

где φ_1 и φ_2 — углы поворота диска машины, зависящие от радиуса R_p и длины оси эллипса резания $2a$.

После интегрирования получим формулу работы сил резания:

$$A = \rho \cdot \pi_{ab} = p \frac{\pi d^2}{4 \cos \alpha_1 \cos \alpha_2}.$$

Здесь $\pi_{ab} = \pi d^2 / (4 \cos \alpha_1 \cos \alpha_2)$ — площадь эллипса резания (площадь шайбы в месте реза).

Зная работу резания, можно рассчитать мощность затрачиваемой энергии и производительность машины для производства щепы.

Под действием сил поперечного резания происходит перерезание волокон древесины и раздвигание отрезаемого слоя древесины (шайбы), т. е. возникает сила сдвигания древесины вдоль волокон. За счет угла

резания δ (см. рис. 1) эта сила превышает сопротивление древесины раскалыванию, тем более что это сопротивление невелико на небольшой толщине шайбы при положительных температурах, а при отрицательных — увеличивается в несколько раз, но и тоже преодолевается за счет большой скорости резания у ножа (превышает 25 м/сек.), и ледяная составляющая мороженой древесины уже не препятствует расщеплению древесины. Но это явление (увеличение сопротивления скалыванию у мороженой древесины) следует учитывать увеличением угла резания δ и угла заточки β самого ножа.

Полезная мощность резания N_n зависит от количества отрубков шайб в единицу времени, т. е. от числа оборотов диска и количества на нем ножей:

$$N_n = 0,001 \rho \frac{\pi d^2}{4 \cos \alpha_1 \cos \alpha_2} \frac{nZ}{60 \cdot 1000},$$

где ρ — удельное усилие резания, Н/мм; d — диаметр бревна, мм; n — частота вращения диска, мин^{-1} ; Z — число ножей на диске.

Как видно из выражения, мощность N_n зависит от диаметра бревна (в квадрате). Это очень большая зависимость. Если мощность рубительной машины для рубки бревен диаметром 20 см составляет 120 кВт, то для рубки бревен диаметром 60 см мощность достигает 1 500 кВт.

Машины с такой большой мощностью двигателя представляют собой целый агрегат с системой водяного охлаждения, системой выброса щепы и забора воздуха.

Ниже приводится упрощенный расчет мощности электродвигателя для дисковой рубительной машины.

Для примера расчета мощности двигателя рубительной машины приняты следующие показатели. Машина предназначена для рубки на щепу еловых круглых и колотых бревен. Диаметр диска $D_g = 1,2$ м, диск вращается со скоростью $v_d = 60 \text{ с}^{-1}$, которая будет и скоростью резания (рубки) U_p . Загрузочный патрон имеет

углы наклона $\alpha_1 = 45^\circ$, $\alpha_2 = 45^\circ$, выпуск ножей $h = 0,015$ м, удаление щепы — нижнее, на ленточный транспортер. Длина измельчаемого сырья $l_g = 1$ м. Средний диаметр древесины $d_{cp} = 0,16$ м, а максимальный $d_{max} = 0,25$ м. Производительность рубительной машины за 7-часовую смену $P_{cm} = 160 \text{ м}^3$.

Расчетная длина получаемой технологической щепы:

$$l_{щ} = \frac{h}{\cos \alpha_1 \cos \alpha_2} = \frac{0,015}{0,707 \cdot 0,707} = 0,03 \text{ м}.$$

Толщина щепы e зависит от свойств древесины (для ели коэффициент получаемой толщины $a = 0,1$):

$$e = l_{щ} \cdot a = 0,003 \text{ м}.$$

Площадь поперечного сечения шайбы:

$$F = \frac{\pi d_{cp}^2}{4} \cdot n = \frac{3,14 \cdot 0,16^2}{4} \cdot 1 = 0,02 \text{ м}^2.$$

Скорость надвигания (продвижения) бревен U_n рассчитываем, исходя из требуемой производительности, времени рубки (25 200 с) и коэффициентов работы ма-

шины $C_1 = 0,6$ и коэффициента загрузки машины $C_3 = 0,8$:

$$U_n = \frac{P_{cm}}{25200 \cdot F \cdot C_1 C_3} = \frac{160}{0,02 \cdot 0,6 \cdot 0,8} = 0,66 \text{ м/с}$$

Диаметр окружности резания D_p рассчитываем, исходя из диаметра диска D_g и длины лезвия ножа $l_n = 0,35 \text{ м}$:

$$D_p = D_g - l_n = 1,2 - 0,35 = 0,85 \text{ м.}$$

Скорость резания на середине лезвия ножа:

$$U_p = 60 \frac{D_p}{2} = 60 \frac{0,85}{2} = 25,5 \text{ м/с.}$$

Расчет количества ножей на диске Z ведем из кинематического соотношения:

$$\frac{U_n}{U_p} = \frac{cZ}{\pi D_p},$$

где e — величина надвигания древесины на один нож, в нашем случае эта величина равна выпуску ножа h , тогда:

$$Z = \frac{\pi \cdot D_p \cdot U_n}{h \cdot U_p} = \frac{3,14 \cdot 0,85 \cdot 0,66}{0,015 \cdot 25,5} = 4,6 \quad (\text{берем } 5)$$

Усилие резания на диске при удельном сопротивлении резанью при рубке сосны при положительной температуре $\rho = 2 \text{ Н/мм}$ и максимальном диаметре бревна $d_{max} = 258 \text{ мм}$:

$$P = \rho \cdot \frac{\pi \cdot d^2 \max}{4} = \frac{U_n}{U_p} = 2580, \text{ Н}$$

Мощность, расходуемая на рубку при КПД $\eta = 0,92$:

$$N_p = \frac{P \cdot U_n}{1000 \cdot \eta} = \frac{2580 \cdot 25,5}{1000 \cdot 0,92} = 71,7 \text{ кВт}$$

С учетом, того что диск машины очень массивен, мы можем учесть его кинематическую энергию при вращении, которая помогает рубить древесину, и тем

самым можно рассчитать мощность электродвигателя за минусом этой величины N' :

$$N_g = N_p - N'$$

Для расчета N' учтем массу диска m_g , которую можно рассчитать по формуле:

$$m_g = 4600 D_g^2 \cdot H_0 = 4600 \cdot 1,2^2 \cdot 0,1 = 665, \text{ кг,}$$

где H_0 — толщина диска, m , и коэффициент скольжения для электрических двигателей $\delta_1 = 0,2$, коэффициент массы диска, муфты и т. п. $K_g = 1,1$, тогда:

$$N^1 = \delta \cdot K_g \frac{m_g U_p^2}{4} \cdot \frac{U_n}{1000 \cdot l_g} = 0,2 \cdot 1,1 \frac{665 \cdot 255^2}{4} \cdot \frac{0,66}{1000 \cdot 1} = 15,7 \text{ кВт.}$$

Тогда по формуле $N_g = N_p - N'$ числовое значение N_g будет:

$$N_g = 71,7 - 15,7 = 56 \text{ кВт.}$$

Если у рубительной машины выброс щепы вверх с помощью лопаток на диске, то на это потребуется дополнительная мощность, примерно 12–15 % от мощности на рубку. Кроме того, этот расчет N_g выполнен для древесины при рубке ее при положительных температурах, а при отрицательных на это потребуется увеличить мощность двигателя в 1,5–1,7 раза.

Выводы. На базе математического описания физических явлений при взаимодействии ножа с круглым лесоматериалом описывается процесс образования шайбы, которая распадается на щепу. В зависимости от толщины шайбы, которая зависит от величины выпуска ножа относительно плоскости диска, получают соответствующую длину щепы. Установлены соотношения длины и толщины щепы в зависимости от свойств древесины и выпуска ножа. Приведенные формулы для расчета параметров щепы позволяют конструировать новые рубительные машины высокой производительности с высоким качеством щепы.

Литература

1. Вальщиков И.М., Лицман Э.П. Рубительные машины. М.: Лесная пром-сть, 1980. 96 с.
2. Лицман Э.П., Гусаров А.А., Федотовская Т.А. Исследование многоножевой рубительной машины // Труды ВНИИБа. Вып. 58. М.: Лесная пром-сть, 1971. С. 215-223.
3. Вальщиков Н.М. Дисковые рубительные машины. М.: Лесная пром-сть, 1964. 207 с.
4. Вальщиков Н.М. Рубительные машины. Л.: Машиностроение, 1970. 328 с.
5. Вальщиков Н.М., Сазонов А.Л., Некоторые аспекты геометрии резания древесины в дисковых рубительных машинах // Бумагоделательное машиностроение. 1975. Вып. 20.
6. ГОСТ 9463-2016 Лесоматериалы круглые хвойных пород. Введ. 01.05.2017. М.: Стандартинформ, 2016. 7 с.
7. ГОСТ 9462-2016 Лесоматериалы круглые лиственных пород. Введ. 01.04.2018. М.: Стандартинформ, 2017. 6 с.
8. ГОСТ 15815-83 Щепа технологическая. Технические условия. Введ. 01.01.1985. М. Госстандарт России, 1992. 14 с.
9. Глуховский В.М., Куницкая О.А., Григорьев И.В. Рубительные машины: неупомимые труженицы // ЛесПром-Информ. 2017. № 5 (127). URL: <https://lesprominform.ru/jarticles.html?id=4767> (дата обращения: 26.04.2022).
10. Локштанов Б.М., Азгур Г.Б., Перминов В.А., Сынчиков В.М. Диск рубительной машины: авт. свидетельство SU 1301712 A1, 07.04.1987; заяв. № 3982033 от 10.12.1980.
11. Вихарев С.Н., Степанова Е.Н. Рубительные машины. Теория. Конструкция. Расчет. Екатеринбург: УГЛТУ, 2015. 15 с.
12. Наумов Н.А., Завьялов В.М., Исаев В.Н., Чигвинцев Ю.И., Носков Н.И. Дисковая рубительная машина для производства щепы: авт. свидетельство № 821151, 15.04.1981; заяв. № 2567115 от 11.01.1978.
13. Фокин С.В., Фомина О.А. К вопросу производства энергетическодисковыми рубительными машинами с различ-

- ными способами выброса щепы // Лесной вестн. Forestry Bulletin. 2020. V. 24. № 2. P. 68-73.
14. Якунин Н.К. Влияние скорости резания на процесс пиления древесины круглыми пилами // Вестн. Московского гос. ун-та леса. Лесной вестн. 2003. № 1. С. 151-162.
 15. Архипов И.В., Кузнецов В.А. Расчет объема опилок при раскросе бревна. Архангельск: САФУ, 2015. С. 201-205.
 16. Пеллеты из древесины лиственных пород // ЛесПромИнформ. 2019. №5 (143). URL: <https://lesprominform.ru/jarticals.html?id=5393> (дата обращения: 20.09.2022).
 17. Пучков Б.В. Измельчение сырья для древесных плит. М.: Лесная пром-сть, 1980. 120 с.
 18. Руководство по производству технологической щепы в леспромпхозах. М., ВНИПИЭИлеспром, 1972. 95 с.
 19. Никишов В.Д. Комплексное использование древесины. М.: Лесная пром-сть, 1985. 264 с.
 20. Коробов В.В., Брик М.И., Рушнов Н.П. Комплексная переработка низкокачественной древесины и отходов лесозаготовок. М.: Лесная пром-сть, 1978. 272 с.
 7. GOST 9462-2016 Round hardwood timber. Vved. 01.04.2018. М.: Standartinform, 2017. 6 p.
 8. GOST 15815-83 Technological chips. Technical conditions. Vved. 01.01.1985. М. Gosstandart Rossii, 1992. 14 p.
 9. Gluhovskij V.M., Kunickaya O.A., Grigor'ev I.V. Chopping machines: tireless workers // LesPromInform. 2017. № 5 (127). URL: <https://lesprominform.ru/jarticles.html?id=4767> (data obrashcheniya: 26.04.2022).
 10. Lokshantov B.M., Azgur G.B., Perminov V.A., Sychikov V.M. The disk of the chopping machine: avt. svidetel'stvo SU 1301712 A1, 07.04.1987; zayav. № 3982033 ot 10.12.1980.
 11. Viharev S.N., Stepanova E.N. Chopping machines. Theory. Construction. Calculation. Ekaterinburg: UGLTU, 2015. 15 p.
 12. Naumov N.A., Zav'yalov V.M., Isaev V.N., CHigvincev YU.I., Noskov N.I. Disk chopping machine for the production of wood chips: avt. svidetel'stvo № 821151, 15.04.1981; zayav. № 2567115 ot 11.01.1978.
 13. Fokin S.V., Fomina O.A. On the issue of the production of energy-disk chopping machines with various ways of chip ejection // Forestry Bulletin. 2020. V. 24. № 2. P. 68-73.
 14. YAkunin N.K. The influence of cutting speed on the process of sawing wood with circular saws // Moscow state forest university bulletin - Lesnoy vestnik. 2003. № 1. P. 151-162.
 15. Arhipov I.V., Kuznecov V.A. Calculation of the volume of sawdust when cutting logs. Arhangel'sk: SAFU, 2015. P. 201-205.
 16. Pellets made of hardwood // LesPromInform. 2019. №5 (143). URL: <https://lesprominform.ru/jarticals.html?id=5393> (data obrashcheniya: 20.09.2022).
 17. Puchkov B.V. Grinding of raw materials for wood slabs. М.: Лесная пром-сть, 1980. 120 p.
 18. Guidelines for the production of technological chips in forestry enterprises. М., ВНИПИЭИлеспром, 1972. 95 p.
 19. Nikishov V.D. Complex use of wood. М.: Лесная пром-сть, 1985. 264 p.
 20. Korobov V.V., Brik M.I., Rushnov N.P. Complex processing of low-quality wood and logging waste. М.: Лесная пром-сть, 1978. 272 p.

References

1. Val'shchikov I.M., Licman E.P. Chopping machines. М.: Лесная пром-сть, 1980. 96 p.
2. Licman E.P., Gusarov A.A., Fedotovskaya T.A. Investigation of a multi-legged chopping machine // Trudy VNIIBA. Vyp. 58. М.: Лесная пром-сть, 1971. P. 215-223.
3. Val'shchikov N.M. Disk chopping machines. М.: Лесная пром-сть, 1964. 207 p.
4. Val'shchikov N.M. Chopping machines. L.: Mashinostroenie, 1970. 328 p.
5. Val'shchikov N.M., Sazonov A.L. Some aspects of the geometry of wood cutting in disc cutting machines // Bumagodelatel'noe mashinostroenie. 1975. Vyp. 20.
6. GOST 9463-2016 Round softwood timber. Vved. 01.05.2017. М.: Standartinform, 2016. 7 p.