

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

УДК 630.363.7

DOI: 10.18324/2077-5415-2023-1-86-91

Описание процесса пиления цепными пилами и расчет затрачиваемой энергии

А.Р. Бирман^{1а}, Б.М. Локштанов^{2б}, В.В. Орлов^{2с}, Т.А. Гусева^{2д}, В.А. Иванов^{3е}

¹ Санкт–Петербургский государственный лесотехнический университет им. С.М. Кирова, Институтский пер., 5, Санкт–Петербург, Россия

² Военная академия связи им. С.М. Буденного, пр. Тихорецкий, 3, Санкт–Петербург, Россия

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

^а birman1947@mail.ru, ^б blokshtanov@mail.ru, ^с artictvetal1987@gmail.com,

^д guse.tania2012@yandex.ru, ^е ivanovva55@mail.ru

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

^д <https://orcid.org/0000-0003-1059-8483>, ^е <https://orcid.org/0000-0003-0707-972X>

Статья поступила 20.04.2023, принята 27.04.2023

Цепные пилы широко используют на лесозаготовках, в деревообработке, пиления льда на водоемах, при разделке крупных животных и т. д. Для создания новых легких производительных пил требуется знать теоретические основы пиления цепными пилами. В статье приведены формулы для расчета мощности привода цепных пил и подробно рассмотрены факторы, влияющие на процесс пиления цепными пилами. Установлено, что на процесс пиления цепными пилами оказывают влияние как свойства самой древесины — порода, влажность, температура, направление пиления (поперек, вдоль волокон, в торец), так и конструкция самой пилы и скорость резания (пиления). Чем выше плотность древесины, тем выше коэффициент породы. У березы или лиственницы этот коэффициент на 20–25 % выше, чем у сосны, ели или осины. Влажность древесины также оказывает влияние на усилия при пиления цепными пилами. Так при поперечном пиления цепными пилами сухой древесины (влажность 10–20 %) усилия при пиления на 10–15 % выше, чем при пиления влажной (свежесрубленной) древесины (влажность 100–120 %). Отрицательные температуры древесины (ниже –5 °С) приводят к увеличению усилий при пиления, а при минусовых температурах –25...–30 °С усилия при пиления почти в 1,5 раза выше чем при положительных температурах. Конструкция пильной цепи и состояние зубьев также влияют на величину усилий при пиления. Применение тонких прочных пластин для цепи позволяет уменьшить ширину пропила и снизить усилия при пиления. Создание зубьев из износостойких материалов позволяет увеличить срок эффективной работы пильного механизма и производительность пил. В статье приведена схема цепной пилы и направления усилий, которые преодолеваются при пиления цепными пилами; приведен график значений удельного сопротивления резанию при пиления цепными пилами в зависимости от ширины пропила и подачи на один зуб цепной пилы. Сделаны выводы и предложения по совершенствованию цепных пил для их производства в России.

Ключевые слова: цепная пила; резание древесины; скорость пиления; скорость подачи; усилие резания; сопротивление резанию.

Description of the process of sawing with chainsaws and calculation of the energy expended

A.R. Birman^{1а}, B.M. Lokshtanov^{2б}, V.V. Orlov^{2с}, T.A. Guseva^{2д}, V.A. Ivanov^{3е}

¹ St. Petersburg State Forest Technical University under name of S.M. Kirov; 5, Institutsky Per., St. Petersburg, Russia

² Military Academy of Communication under name of S.M. Budenny; 3, Tikhoretsky Ave., St. Petersburg, Russia

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

^а birman1947@mail.ru, ^б blokshtanov@mail.ru, ^с artictvetal1987@gmail.com,

^д guse.tania2012@yandex.ru, ^е ivanovva55@mail.ru

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

^д <https://orcid.org/0000-0003-1059-8483>, ^е <https://orcid.org/0000-0003-0707-972X>

Received 20.04.2023, accepted 27.04.2023

Chain saws are widely used in logging, woodworking, sawing ice on ponds, butchering large animals, etc. To create new light-weight productive saws, it is necessary to know the theoretical foundations of sawing with chain saws. The article provides formulas for calculating the drive power of chain saws and discusses in detail the factors affecting the sawing process with chain saws. It has been established that the process of sawing with chain saws is influenced by both the properties of the wood itself: species, humidity, temper-

ature, direction of sawing (across, along the fibers, to the end), and the design of the saw itself and the cutting speed (sawing) of the chain saw. The higher is the density of the wood, the higher will be the breed coefficient. So, for birch or larch, this coefficient is 20–25% higher than for pine, spruce or aspen. The moisture content of the wood also has an effect on sawing forces with chainsaws. Thus, when cross-cutting dry wood with chain saws (moisture content 10–20%), the sawing effort is 10–15% higher than when sawing wet (freshly cut) wood (moisture content 100–120%). Negative wood temperatures (below -5°C) lead to an increase in sawing efforts, and at sub-zero temperatures $-25...-30^{\circ}\text{C}$ sawing efforts are almost 1.5 times higher than at positive temperatures. The design of the saw chain and the condition of the teeth also affect the amount of sawing force. The use of thin, strong chain plates allows for a narrower kerf and less effort when sawing. The creation of teeth from wear-resistant materials make it possible to increase the period of effective operation of the saw mechanism and increase the productivity of saws. The article shows a diagram of a chain saw and the direction of efforts that are overcome when sawing with chain saws; shows a graph of the values of specific cutting resistance when sawing with chain saws, depending on the width of the cut and the feed per tooth of the chain saw. Conclusions and proposals for improving chain saws for their production in Russia are made.

Keywords: chain saw; wood cutting; sawing speed; feed speed; cutting force; cutting resistance.

Введение. Цепную пилу создал в 1830 г. немецкий врач-ортопед Бернард Гейне. Эта была маленькая пила с ручным приводом для резки костей. В 1910 г. в США впервые появились сведения об изобретении цепной пилы для пиления секвойи. В 1926 г. немецкий инженер Андреас Штиль проектирует переносную цепную пилу с электродвигателем. Первые модели были громоздкие и неудобные. Созданная Андреасом Штилем компания «STIHL» упорно работает в направлении создания удобных переносных пил и через несколько лет создает пилу с бензиновым двигателем. В начале 1930-х гг. в России начали производство подобных бензопил для поперечной распиловки древесины на лесосеках и на нижних складах (рис. 1) [1].

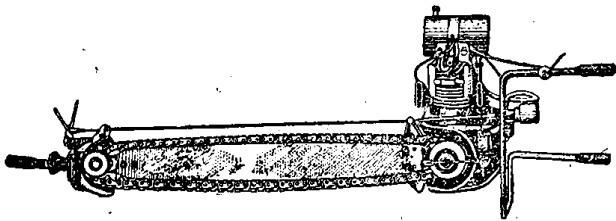


Рис. 1. Бензопила МП-220 (мощность 3,5 л. с., вес 32 кг, год выпуска 1935)

Форма зубьев цепных пил напоминала зубья дисковых пил. В 1947 г. компания «Oregon» разработала новый вид пильной цепи с формой зубьев в виде челюстей жука-короеда, которую подсмотрел и предложил использовать в 1946 г. лесоруб из США Джозеф Кокс. Изобретение двухтактного двигателя фирмой «Solo» и применение его на переносных пилах позволило создавать пилы весом около 12 кг. С 1959 г. начинается массовое производство фирмой «STIHL» бензопил для работы с ними на лесозаготовках. В эту сферу успешно подключилась шведская фирма «Husqvarna», создавшая легкую пилу, которую можно было использовать и для обрезки сучьев.

В СССР в 1953 г. началась разработка и производство бензопилы «Дружба» (подобная пила «STIHL Туре ВL»), а в 1955 г. в Перми наладили ее серийное производство. Бензопила «Дружба» имела мировое признание (рис. 2) [2]. В дальнейшем в СССР стали выпускать пилы «Урал» и «Тайга» (рис. 3, 4) [3; 4].



Рис. 2. Бензопила «Дружба»

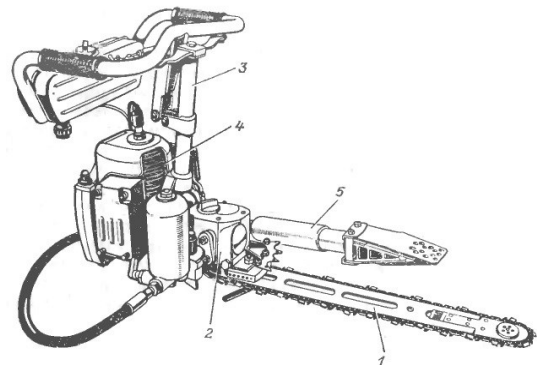


Рис. 3. Бензопила МП-5 «Урал-2» с гидроклином КГМ-1А: 1 — пильный аппарат; 2 — редуктор; 3 — рама с рукоятками; 4 — двигатель; 5 — валочный гидроклин



Рис. 4. Бензопила БП 4000 «Тайга»

В 1980-х гг. серийный выпуск бензопил удовлетворял потребности лесозаготовителей в СССР, и пилы продавали во многие страны мира. В 1990-х и последующих годах в РФ стали в основном приобретать импортные бензопилы и создавать предприятия по сборке таких пил (рис. 5) [5].



Рис. 5. Профессиональная цепная бензопила STIHL MS 441

Учитывая санкции и экономическое давление на РФ, лесной отрасли придется возобновить производство моторных пил, удовлетворяющих современным требованиям лесозаготовителей, деревообработчиков и т. д. В связи с этим данная статья направлена на раскрытие теоретических вопросов пиления древесины цепными пилами. Приведены формулы для расчета затрачиваемой на это энергии (расчет мощности двигателя цепной пилы).

Теоретические основы и расчеты мощности двигателя цепной пилы. Моторные цепные пилы применяются для валки деревьев, обрезки сучьев, раскряжевки крупных деревьев, для производства досок и брусьев, раскряжевки пачек хлыстов, для создания деревянных или ледяных скульптур, пиления льда на реках и водоемах, в деревянном строительном деле. Цепные моторные пилы могут быть легкими, переносными, передвижными, в составе манипуляторов, в специальных агрегатах. Приводом цепной пилы могут быть бензиновый двигатель, электродвигатель (от сети или аккумулятора), гидравлический или пневматический мотор.

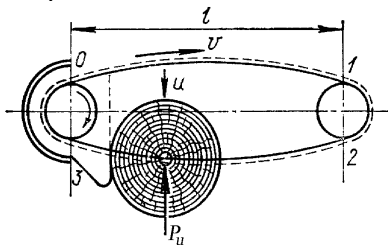


Рис. 6. Схема усилий для расчета мощности цепной пилы

Мощность двигателя цепных пил расходуется на пиление, трение цепи о шину, преодоление сопротивлений в кинематической цепи передачи от вала двигателя к ведущей звездочке [6].

Минимальное натяжение пильной цепи Z_0 будет в точке сбегания цепи с ведущей звездочки (точка O на рис. 6) [7] и равно монтажному натяжению $Z_{\text{монт}}$. [8]

$$Z_0 = Z_{\text{монт}} = 50H, \quad (1)$$

Натяжение Z_1 в точке 1 (рис. 6) составит:

$$Z_1 = Z_0 + g \cdot l \cdot \mu, \quad (2)$$

где g — вес одного погонного метра цепи; l — длина пильной цепи, m ; μ — коэффициент трения цепи о шину (0,2–0,3).

Натяжение цепи Z_2 в точке 2 (рис. 6) увеличивается за счет огибания цепью холостой звездочки на шине:

$$Z_2 = Z_1 + 0,08 \cdot Z_1, \quad (3)$$

где 0,08 — коэффициент сопротивления цепи при огибании цепью шины (звездочки) и оценивается $\sim 8\%$ от натяжения цепи в точке 1 (это величина потерь мощности за счет сил трения в ведомой звездочке и в самой цепи) [9].

Натяжение цепи Z_3 в точке 3 складывается из следующих компонентов:

$$Z_3 = Z_2 + P_p + P_n \cdot \mu. \quad (4)$$

Максимальное усилие в цепи учитывает и сопротивление цепи при огибании ведущей звездочки:

$$Z_{\text{max}} = Z_3 + Z_0 = P_p + P_n \cdot \mu + 2,08 \cdot q \cdot l \cdot \mu + 0,08 \cdot Z_0, \quad (5)$$

где P_p — сила резания древесины цепной пилой, H ; P_n — сила надвигания пилы (зубьев пилы) на древесину, H .

Рассмотрим расчет величин силы резания P_p и силы надвигания P_n . Сила резания P_p из теории резания древесины [10; 11] может быть рассчитана по следующей формуле:

$$P_p = K \cdot v \cdot H \frac{V_H}{V_p}, \quad (6)$$

где K — удельное сопротивление резанию при пилении цепными пилами, H/m^2 ; v — ширина пропила, mm ; H — высота пропила, mm (для круглых лесоматериалов $H = 0,8d$, где d — диаметр лесоматериала в месте пропила, mm); V_H — скорость надвигания цепной пилы, m/c ; V_p — скорость резания цепной пилы, m/c (для цепных пил скорость резания $V_p = 15–17 m/c$) [12].

Величина скорости надвигания имеет большой диапазон и зависит от вальщика леса, от привода механизма надвигания на манипуляторах и других пильных систем. Обычно величина P_n может быть выражена формулой [17]:

$$P_n = (0,7 \div 1,0)P_p. \quad (7)$$

В формуле (6) применяется удельное сопротивление резанию древесины K при пилении цепными пилами. Это удельное сопротивление зависит от большого количества факторов, большинство из которых требует глубоких научных исследований. Для определения показателей удельного сопротивления резанию древесины ученые в нашей стране и за рубежом проводили научные работы как по теории резания древесины вообще, так и по резанию различными типами пил (цепными, дисковыми, ленточными и т. д.) в частности [13]. До 1991 г. в СССР выдано много авторских свидетельств по усовершенствованию бензопил, например, по снижению вибраций бензопилы при больших оборотах звездочки [14].

Установлено, что показатель K зависит не только от типа пил, но и от свойств самой древесины. Для чистоты экспериментов исследования была взята за эталон древесина сосны с абсолютной влажностью 15–20% (сухая), и определен показатель k_0 — удельное сопротивление резанию эталонной древесины, или ос-

новное удельное сопротивление резанию. Тогда формула для определения величины K примет вид:

$$K = k_0 \cdot a_n \cdot a_w \cdot a_\delta \cdot a_3 \cdot a_t \quad (8)$$

Как видно из приведенной формулы (8), удельное сопротивление резанию K зависит от основного удельного сопротивления резанию k_0 и большого количества коэффициентов, учитывающих состояние древесины и пильной цепи. Рассмотрим эти коэффициенты:

a_n — коэффициент, учитывающий породу древесины. Например, для сосны $a_n = 1,0$; для ели $a_n = 0,90-1,00$; для лиственницы $a_n = 1,10$; для осины $a_n = 0,85$; сосны $a_n = 0,85$; для березы $a_n = 1,20-1,30$;

a_w — коэффициент, учитывающий влажность (абс.) и способ обработки древесины. При поперечной распиловки древесины и при влажности $W = 8-10\%$ $a_w = 1,1$; при $W = 15-20\%$ $a_w = 1,0$; при $W = 35-50\%$ $a_w = 1,05$; при $W = 100-150\%$ $a_w = 0,9$; при $W \geq 150\%$ $a_w = 0,85$. При пилении цепной пилой вдоль волокон древесины все значения коэффициентов a_w увеличиваются на 20 %;

a_δ — коэффициент, учитывающий угол резания и направление резания.

Обычно угол резания при пилении цепными пилами составляет 30–50°, а направление резания поперечное, но цепной пилой можно резать (пилить) в любых направлениях, тогда коэффициент a_δ может увеличиться до 20 % при продольном резании и почти в 3 раза при резании в торец;

a_3 — коэффициент, учитывающий состояние остроты зубьев пилы (затупление). При только что заточенных зубьях $a_3 = 1,0$; при двухчасовой непрерывной работе пилы $a_3 = 1,2$; при четырехчасовой работе — $a_3 = 1,5$. Износостойкость зубьев пилы зависит от материала, из которого они изготовлены. Подбор материала для зубьев является предметом для изучения машиностроительными предприятиями;

a_t — коэффициент, учитывающий влияние отрицательных температур на условия пиления. Определяется по формуле: $a_t = 1 + 0,1\sqrt{T}$, где T — абсолютные значения отрицательной температуры. Исследования показали, что при температурах положительных и отрицательных, от 0 до -5 °С, значение $a_t = 1$, а при отрицательных температурах в диапазоне -25...-30 °С $a_t = 1,3$.

Вернемся к формуле (7) и рассмотрим основное значение удельной работы резания k_0 . Как показали исследования, этот показатель зависит от величины подачи на один зуб пилы U_z и ширины пропила в месте пиления цепной пилой v :

$$k_0 = f(U_z \cdot v) \quad (9)$$

По результатам исследований была составлена эмпирическая формула для определения k_0 от указанных выше величин:

$$k_0 = \frac{2,65 \cdot 10^5}{(U_z \cdot v)^{0,33}}, \text{ МДж/м}^3, \quad (10)$$

где U_z — величина подачи пилы на один зуб, мм; v — ширина пропила в месте пиления материала, мм.

По результатам исследований k_0 составлен график (рис. 7) [15], наглядно показывающий изменения величины k_0 , которым удобно пользоваться при расчетах. Для сравнения даны результаты k_0 как для цепных, так и для дисковых пил.

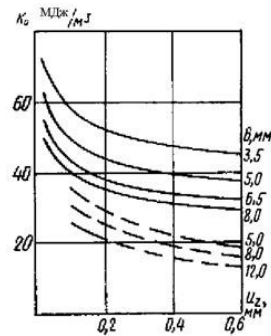


Рис. 7. График основных значений удельной работы резания k_0 при поперечном пилении дисковой (сплошные линии) и цепной (пунктирные линии) пилой воздушно-сухой сосны острыми зубьями

Для определения величины U_z нам необходимо рассмотреть кинематические характеристики процесса пиления цепной пилой, а именно скорость продвижения (скорость подачи) U (рис. 7) и производительность чистого пиления $П_{ч.н}$:

$$U = П_{ч.н} / H, \quad (11)$$

где $П_{ч.н}$ — производительность чистого пиления, м²/с, это площадь пропила, производимая пилой за 1 секунду; значение показателя $П_{ч.н}$ зависит от типа пилы и пильной цепи и находится в пределах от 60 см²/с (0,006 м²/с) до 120 см²/с (0,012 м²/с); его определяют по формуле:

$$П_{ч.н} = \frac{\pi d}{4} \cdot \frac{dc}{t} = H \cdot U. \quad (12)$$

Тогда величину подачи на зуб U_z можно будет определить из кинематического соотношения при пилении:

$$U_z = \frac{U \cdot t}{V_p}, \quad (13)$$

где t — шаг цепи по одноименным зубьям для цепной пилы:

$$t = 4 \cdot t_u, \quad (14)$$

где t_u — шаг по заклепкам цепи (зависит от марки цепи).

Зная величины Z_{max} (5) и скорость резания V_p (скорость цепи ~ 17 м/с) и общий КПД привода цепной пилы $\eta = 0,85-0,90$, можно определить мощность N_p , затрачиваемую на пиление:

$$N_p = \frac{Z_{\max} \cdot V_p}{1000 \cdot \eta}, \text{ кВт} . \quad (15)$$

С учетом перегрузочной способности двухтактного двигателя внутреннего сгорания $K_c = 1,25$ мощность двигателя N_o будет:

$$N_o = \frac{N_p}{K_c}, \text{ кВт} . \quad (16)$$

Мощность двигателей переносных цепных пил зависит от длины шины и марки пильной цепи и находится в пределах 2,5–5 кВт, масса цепных переносных пил составляет 2,5–7 кг. Длина шины пилы находится в пределах от 20 до 100 см. Кроме переносных цепных пил выпускают и стационарные пилы с механическим приводом надвигания (рычажный, гидравлический, пневматический).

Одной из самых больших установок для поперечной распиловки (раскряжевки) пачек хлыстов с помощью цепной пилы является установка ЛО-62. В установке применяется пильная цепь ПКУ-30Б. Это самая большая пильная цепь. Установка очень производительная, обеспечивающая раскряжевку 750–800 м³ хлыстов в смену. Цепная пила может раскряжевывать пачку хлыстов в поперечном сечении до 2,8×2,8 м, мощность привода цепи составляет 72,5 кВт, скорость цепи около 15 м/с. Общая длина пильной цепи 14,6 м. Время на один рез сверху вниз составляет 40–50 с, время на раскряжевку одной пачки хлыстов — 12–15 мин. Одна из установок ЛО-62 эксплуатировалась на ЦБК в Архангельской области (рис. 8) [16].

В связи с тем, что на установке происходит групповой раскрой хлыстов, получают сортименты без учета их качественных характеристик, что затрудняет их дальнейшее использование. В связи с этим установки

ЛО-62 не получили широкого распространения, кроме того, в данное время лесозаготовки производят сортиментами, а не хлыстами.

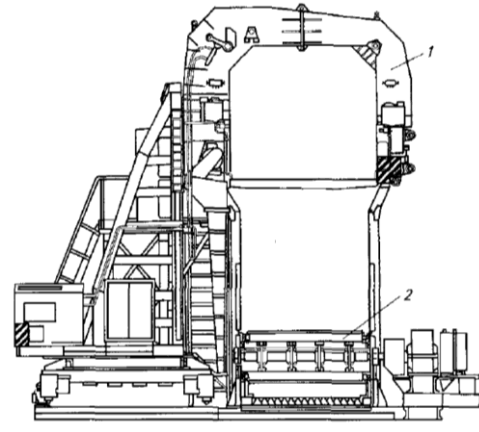


Рис. 8. Установка ЛО-62 для раскряжевки пачек хлыстов цепной пилой

Выводы. Приведенные выше формулы для расчета мощности двигателей (затраты энергии) для пиления цепными пилами показали, что эти затраты зависят от большого количества факторов, связанных как со свойствами древесины, так и с конструктивными характеристиками пильной цепи, пильной шины. Особенно большое влияние на показатели процесса пиления цепными пилами оказывает порода древесины, ее влажность, а также температура материала (особенно в зимний период). Также большое влияние на процесс оказывают ширина и высота пропила, время работы пилы и затупление зубьев, а также скорость резания и скорость подачи (надвигания).

Литература

1. Бензопила МП-220. URL: <https://warspot.ru/11043-nikakoy-druzhby> (дата обращения: 16.04.2023).
2. Бензопила «Дружба». URL: <https://fb.ru/article/115098/benzopilyi-drujba-istoriya-i-nastoyashee> (дата обращения: 16.04.2023).
3. Бензопила МП-5 «Урал-2» с гидроклином КГМ-1А. URL: <https://molibden-wolfram.ru/ustrojstvo-reduktora-benzopily-ural/> (дата обращения: 16.04.2023).
4. Бензопила БП 4000 Тайга. URL: <https://proogorod.com/selhoztehnika/sadovaia-tehnika/benzopily/benzopily-tajga> (дата обращения: 16.04.2023).
5. Бензопила STIHL MS 441. URL: <https://strussia.ru/benzopila-stihl-ms-441-shina-45-sm> (дата обращения: 16.04.2023).
6. Схема цепной пилы. URL: <https://studfile.net/preview/3563842/page:4/> (дата обращения: 16.04.2023).
7. Клоков Д.В., Лой В.Н., Турлай Н.В. Бензомоторные пилы. Минск: БГТУ, 2001. 65 с.
8. Грубэ А.Э. Двухтактные инструменты. М.: Лесная промышленность, 1971. 344 с.
9. Матвейко А.П. Технология и оборудование лесозаготовительного производства. Минск: Техноперспектива, 2006. 447 с.
10. Ивановский Е.Г. Резание древесины. М.: Лесная промышленность, 1975. 200 с.
11. Гроховский К.Ф., Лившиц Н.В. Основы технологических расчетов оборудования лесосечных и лесоскладских работ. М.: Лесная промышленность, 1987. 255 с.
12. Залгаллер Б.Г., Ласточкин П.В., Бойков С.П. Технология и оборудование лесных складов. 3-е изд., испр., доп. М.: Лесная промышленность, 1984. 352 с.
13. Григорьев И., Хитров Е., Власов Ю., Иванов В. Пиление древесины цепными пилами. URL: <https://lesprominform.ru/journals?year=2014> (дата обращения: 16.04.2023).
14. Вецлер В.И., Красинский Г.Л. Переносная бензомоторная цепная пила: а. с. № 992185. БИ № 4, 1983 г.
15. График основного удельного сопротивления резанию. URL: <https://lektsia.com/1x19d.html> (дата обращения: 16.04.2023).
16. Технология целлюлозно-бумажного производства: справочные материалы. В 3-х т. Сырье и производство полуфабрикатов. СПб.: ЛТА, 2002. Т. 1. Ч. 1. 432 с. URL: https://www.studmed.ru/view/vniib-tehnologiya-cellyulozno-bumazhnogo-proizvodstva-spravochnye-materialy-v-3-h-tomah-tom-1-chast-1_81ef3101142.html?page=23 (дата обращения: 16.04.2023).
17. Marenče J., Mihelič M., Poje A. Influence of Chain Filing, Tree Species and Chain Type on Cross Cutting Efficiency and Health Risk. Forests. 2017. V. 8, iss. 12. art. 464.

References

1. Chainsaw MP-220. URL: <https://warspot.ru/11043-nikakoy-druzhby> (data obrashcheniya: 16.04.2023).

2. Chainsaw «Druzhba». URL: <https://fb.ru/article/115098/benzopilyi-drujba-istoriya-i-nastoyashee> (data obrashcheniya: 16.04.2023).
3. Chainsaw MP-5 "Ural-2" with hydrocline KGM-1A. URL: <https://molibden-wolfram.ru/ustrojstvo-reduktora-benzopily-ural/> (data obrashcheniya: 16.04.2023).
4. Chainsaw BP 4000 Taiga. URL: <https://proogorod.com/selhoztehnika/sadovaia-tehnika/benzopily/benzopili-tajga> (data obrashcheniya: 16.04.2023).
5. Chainsaw STIHL MS 441. URL: <https://strussia.ru/benzopila-stihl-ms-441-shina-45-sm> (data obrashcheniya: 16.04.2023).
6. Chain saw diagram. URL: <https://studfile.net/preview/3563842/page:4/> (data obrashcheniya: 16.04.2023).
7. Klovok D.V., Loj V.N., Turlaj N.V. Gasoline-powered saws. Minsk: BGTU, 2001. 65 p.
8. Grube A.E. Wood-cutting tools. M: Lesnaya prom-st', 1971. 344 p.
9. Matvejko A.P. Technology and equipment of logging production. Minsk: Tekhnoperspektiva, 2006. 447 p.
10. Ivanovskij E.G. Wood cutting. M.: Lesnaya prom-st', 1975. 200 p.
11. Grohovskij K.F., Livshic N.V. Fundamentals of technological calculations of equipment for logging and timber storage operations. M.: Lesnaya prom-st', 1987. 255 p.
12. Zalegaller B.G., Lastochkin P.V., Bojkov S.P. Technology and equipment of timber warehouses. 3-e izd., ispr., dop. M.: Lesnaya prom-st', 1984. 352 p.
13. Grigor'ev I., Hitrov E., Vlasov YU., Ivanov V. Sawing wood with chain saws. URL: <https://lesprominform.ru/journals?year=2014> (data obrashcheniya: 16.04.2023).
14. Vecler V.I., Krasinskij G.L. Portable gasoline-powered chain saw: a. s. № 992185. BI № 4, 1983 g.
15. Graph of the main cutting resistivity. URL: <https://lektsia.com/1x19d.html> (data obrashcheniya: 16.04.2023).
16. Tekhnologiya cellyulozno-bumazhnogo proizvodstva: spravochnye materialy. V 3-x t. Syr'e i proizvodstvo polufabrikatov. SPb.: LTA, 2002. V. 1. CH. 1. 432 p. URL: https://www.studmed.ru/view/vniib-tehnologiya-cellyulozno-bumazhnogo-proizvodstva-spravochnye-materialy-v-3-h-tomah-tom-1-chast-1_81ef3101142.html?page=23 (data obrashcheniya: 16.04.2023).
17. Marenče J., Mihelič M., Poje A. Influence of Chain Filing, Tree Species and Chain Type on Cross Cutting Efficiency and Health Risk. Forests. 2017. V. 8, iss. 12. art. 464.