

УДК 674.05(075.8)

Методика определения производительности чистого пиления и энергозатрат при поперечном пилении мерзлой древесины

В.Е. Жданович

Северный (Арктический) федеральный университет им. Ломоносова, наб. Северной Двины 17, Архангельск, Россия
ivanovva55@mail.ru

Статья получена 25.06.2014, принята 17.08.2014

Ранее была обоснована важность проведения дополнительных исследований энергоёмкости процесса поперечного пиления древесины цепными пилами и предложена методологическая основа проведения экспериментальных исследований по определению основной удельной работы резания при поперечном пилении древесины цепями. В частности, предложен адаптированный под исследование процесса поперечного пиления древесины подход, основанный на положениях общей прикладной теории измельчения материалов; проанализирована возможность применения основных положений механики разрушения материалов при определении численных значений основной удельной работы резания при поперечном пилении древесины цепными пилами. Кроме того, была показана связь упругих постоянных древесины (а именно – модуля упругости древесины при сжатии поперек волокон) и удельной работы резания при пилении ввиду того, что при исследовании процесса поперечного пиления необходимо учитывать совместное влияние отрицательной температуры и влажности древесины на ее свойства. Количество влаги распределено по стволу дерева неравномерно, по этой причине величина удельной работы резания будет переменной величиной, зависящей от положения пильной шины в формируемом пропиле. Это, в свою очередь, вносит коррективы в методику расчета потребной на пиление мощности, а также показателей, так или иначе связанных с ней. В статье предложена модель для определения производительности чистого пиления при поперечном пилении мерзлой древесины цепями с учетом переменного характера распределения влажности по стволу дерева. По результатам выполненных исследований получены универсальные зависимости для определения максимальной (по мощности двигателя бензомоторной пилы) производительности чистого пиления, времени формирования пропила и совершенной работы при поперечном пилении мерзлой древесины. При этом переменный характер распределения влажности по стволу дерева учтен при помощи вспомогательной линейной функции. Перспективной дальнейших исследований является интеграция полученных результатов в методику оценки качества лесопользования с использованием универсального критерия оценки по разности энергозатрат на получение продуктов лесопользования и их энергоёмкости (за показатель качества рассматриваемого процесса принимается энергетическая эффективность, получаемая как разность энергоёмкости продуктов лесопользования и затрат на все фазы их получения).

Ключевые слова: поперечное пиление, производительность чистого пиления, мерзлая древесина.

Technique for determining finish sawing productivity and energy demands under cross-cutting of the frozen wood

V.E. Zhdanovich

Northern (Arctic) Federal University under name of M.V. Lomonosov, 17 Severnaya Dvina Emb., Arkhangelsk, Russia
ivanovva55@mail.ru

Статья получена 25.06.2014, принята 17.08.2014

Conducting some additional research in energy intensity of the cross-cutting process with gasoline chain saws is of great importance and has already been the subject of our research. Methodological basis for experimental research in determining the basic pre-unit cutting work under cross-cutting with gasoline chain saws has been proposed. In particular, an approach, adapted to the research of the cross-cutting process and based on the provisions of the theory of material breakage, has been offered. Possibility of using some basic provisions of material breakage mechanics when finding numerical value of the basic pre-unit cutting work under cross-cutting with gasoline chain saws has been analyzed. Moreover, a relation between wood elastic constants (modulus of wood elasticity under compressing perpendicular the grain, specifically) and pre-unit cutting work under cross-cutting has been shown as a joint effect of negative temperatures and wood moisture content which is made on the wood properties when studying the cross-cutting process should necessarily be taken into consideration. The amount of moisture is distributed unequally along the tree trunk that is why the quantity of the pre-unit cutting work is variable depending on the chain guide position in the saw-cut which, in terms, makes allowances in technique for calculating required cutting capacity and all the data connected with the capacity. The article proposes the model for determining finish sawing productivity under cross-cutting of the frozen wood with gasoline chain saws and with taking into account a variable pattern of the moisture distribution along the tree trunk. According to the results of the research conducted, some general dependencies for determining maximum (which depends on the capacity of a gasoline chain saw) productivity of finish sawing, the saw-cut forming time and the perfect work under cross-cutting of the frozen wood have been received. A variable pattern of the moisture distribution along the tree trunk has been taken into account with the help of the auxiliary linear function. A potential for further research is the integration of the given results into the technique of quality control of wood exploitation by using general evaluation criterion depending on the differences of energy demands to receive the products of wood exploitation and their energy intensity (power effectiveness,

received as a difference between energy intensity of the products of wood exploitation and energy demands for all the phases of receiving the products, has been taken as a quality parameter of the process under research).

Keywords: cross-cutting, finish sawing productivity, frozen wood.

Введение. При исследовании процесса поперечного пиления необходимо учитывать совместное влияние отрицательной температуры и влажности древесины на ее свойства [1]. Количество влаги распределено по стволу дерева неравномерно, по этой причине величина удельной работы резания будет переменной величиной, зависящей от положения пильной шины в формируемом пропиле [2]. Это в свою очередь вносит коррективы в методику расчета потребной на пиление мощности, а также показателей, так или иначе связанных с ней.

Целью настоящей статьи является составление методики определения максимально возможной производительности чистого пиления при поперечном пилении мерзлой древесины с учетом неравномерного распределения влажности по стволу дерева.

Результаты исследования. Расчетная схема рассматриваемого процесса представлена на рис. 1. Примем, что пильная шина перемещается в плоскости пропила по оси x с переменной скоростью U (скорость подачи) так, что обеспечивается максимальное использование мощности двигателя пилы. Влажность древесины изменяется от W_C (влажность сердцевины) до W_3 (влажность заболонной части) по линейному закону.

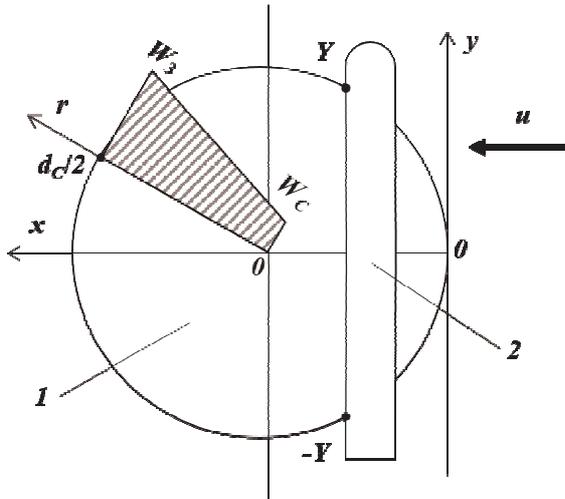


Рис. 1. Схема к расчету мощности при пилении мерзлой древесины: 1 – плоскость пропила; 2 – пильная шина

Высоту пропила H найдем из схемы на рис. 1:

$$H = Y - (-Y) = 2Y = 2\sqrt{d_C x - x^2}, \quad (1)$$

где d_C – диаметр дерева в месте среза.

Ранее было сделано предположение, что поправочный коэффициент a_{WT} для учета совместного влияния отрицательной температуры и влажности на удельную работу резания при пилении древесины определяется в общем виде по формуле [1]:

$$a_{WT} = a_0 + a_1 W + a_2 W \cdot T + a_3 T \quad (2)$$

Примем допущение, что влажность древесины изменяется вдоль радиальной оси r по линейному закону:

$$W = b_0 + b_1 r, \quad (3)$$

причем:

$$W_C = \frac{1}{n} W_3, \quad (4)$$

где b_0, b_1, n – числовые коэффициенты; W_C – влажность сердцевины ($r = 0$), W_3 – влажность заболонной части ($r = d_C/2$).

Тогда для a_{WT} можем записать:

$$a_{WT} = A_0 + A_1 r, \quad (5)$$

где:

$$A_0 = T W_C a_2 + T a_3 + W_C a_1 + a_0 \quad (6)$$

$$A_1 = n \cdot (T W_3 a_2 - T a_2 W_C + W_3 a_1 - a_1 W_C) \quad (7)$$

$$A_2 = \frac{1}{d_C} \cdot A_1 \quad (8)$$

Закономерность изменения влажности древесины по длине площадки контакта с пильной цепью найдем после подстановки в формулу (5) выражения для координаты r через координаты x, y :

$$r = \sqrt{\left(\frac{d_C}{2} - x\right)^2 + y^2} \quad (9)$$

Общее выражение для удельной работы резания при пилении имеет вид [3]:

$$k = k_0 a_{II} a_p a_{WT}, \quad (10)$$

где k_0 – основная удельная работа резания; a_{II} – поправочный коэффициент на породу; a_p – поправочный коэффициент на затупление цепи.

Основная удельная работа резания k_0 при поперечном пилении древесины цепью определяется по формуле [3]:

$$k_0 = \frac{2,65 \cdot 10^5}{(u_z \cdot b)^{1/3}}, \quad (11)$$

где u_z – подача на зуб.

Формула для подачи на зуб u_z имеет следующий вид:

$$u_z = t_3 \frac{U}{V}, \quad (12)$$

где t_3 – шаг зубьев цепи, V – скорость резания.

Для дальнейших расчетов используем осредненное значение работы резания с учетом перемены влажности по длине площадки контакта в зависимости от положения пильной шины по оси x , которое определим следующим образом:

$$\bar{k} = \frac{k_0 a_{II} a_p}{2Y} \int_{-Y}^Y a_{WT} dy. \quad (13)$$

После интегрирования из формулы (13) получим:

$$\bar{k} = k_0 a_{II} a_p \cdot (A_2 d_C f + A_0), \quad (14)$$

где обозначено:

$$f = \frac{(1-2m)^2}{16\sqrt{m-m^2}} \ln \left(\frac{2\sqrt{m-m^2}+1}{-2\sqrt{m-m^2}+1} \right) + \frac{1}{4}, \quad (15)$$

$$m = \frac{x}{d_C}. \quad (16)$$

С учетом выражения (8), запишем выражение (14) в следующем виде:

$$\bar{k} = k_0 a_{II} a_p \cdot (A_1 f + A_0) \quad (17)$$

Для определения мгновенного значения скорости подачи, максимально возможного при заданной мощности двигателя N , используем выражение [3]:

$$U = \frac{N\eta}{k \cdot b \cdot H}, \quad (18)$$

где η – КПД передачи от вала двигателя к ведущей звездочке пыльного аппарата, b – ширина пропила.

Преобразуем формулу (18) с учетом формул (1), (12), (15), (16), при этом перейдем к размерности мощности [кВт], тогда скорость подачи равна:

$$U = 8,196 \cdot 10^{-5} \frac{t_3 N^3 \eta^3}{\sqrt{a_{II}^3 a_p^3 V b^2 d_C^3 (A_1 f + A_0)^3 \cdot (m-m^2)^{\frac{3}{2}}}}. \quad (19)$$

Время, затрачиваемое на перемещение пыльной шины из точки $x = 0$ ($m = 0$) в точку $x = d_C$ ($m = 1$) найдем по формуле:

$$T = \int_0^1 \frac{1}{U} dm = 1,22 \cdot 10^4 \cdot \sqrt{\frac{a_{II}^3 a_p^3 V b^2 d_C^3}{t_3 N^3 \eta^3}} \cdot F \quad (20)$$

$$F = \int_0^1 (A_1 f + A_0)^{\frac{3}{2}} \cdot (m-m^2)^{\frac{3}{4}} dm \quad (21)$$

Производительность чистого пиления $\Pi_{чп}$ представляет собой отношение площади пропила ко времени, затраченному на его формирование, тогда:

$$\Pi_{чп} = \frac{\pi \cdot d_C^2}{4T} = 6,437 \cdot 10^{-5} \sqrt{\frac{t_3 N^3 \eta^3 d_C}{a_{II}^3 a_p^3 V b^2}} \cdot \frac{1}{F}. \quad (22)$$

Замкнутое выражение для интеграла по формуле (20) получить невозможно, однако аппроксимация результатов численного интегрирования выражения (20) в диапазоне отрицательной температуры T от 0 до 30 °С и влажности заболонной части древесины W_3 от 90 до 170 % ($n = 2$, $a_0 = 0,983$, $a_1 = 0,000852$, $a_2 = 0,000205$, $a_3 = 0,0126$) позволила получить следующую приближенную формулу для функции F ($R^2 = 0,997$):

$$F = 0,248 + 0,000171W_3 + 0,000095W_3T + 0,00401T. \quad (23)$$

Изменение значения функции F проиллюстрировано в виде графика на рис. 2.

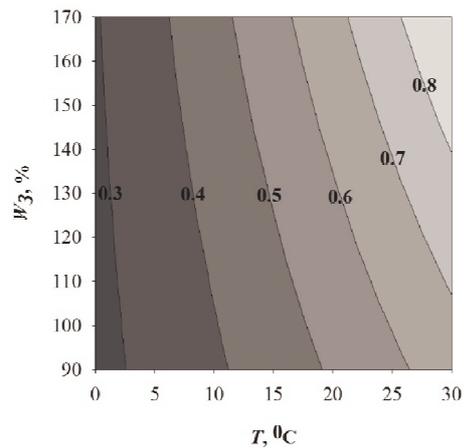


Рис. 2. Вспомогательная функция F для учета влияния отрицательной температуры и влажности при определении производительности чистого пиления и времени формирования пропила при поперечном пилении мерзлой древесины

Работа, совершенная при формировании пропила, определится после перемножения мощности двигателя на время формирования пропила по формуле (19) с учетом выражения (23).

Заключение

По результатам выполненных исследований получены универсальные зависимости для определения максимальной (по мощности двигателя бензомоторной пилы) производительности чистого пиления и работы, времени формирования пропила и совершенной работы при поперечном пилении мерзлой древесины. При этом учтен переменный характер распределения влажности по стволу дерева. Время, затрачиваемое на пропил, определяется по формуле (20), производительность чистого пиления – по формуле (22), вспомогательная функция для учета влияния отрицательной температуры и влажности древесины рассчитывается по уравнению (23).

Литература

1. Григорьев И.В., Хитров Е.Г., Власов Ю.Н., Иванов В.А., Жданович В.И. О необходимости дополнительных исследований энергоемкости процесса поперечного пиления древесины // Системы. Методы. Технологии. 2013. № 4 (20) С. 144-147.
2. Курицын В.Н. Особенности резания мерзлой древесины. М.: Лесная промышленность, 1981. 105 с.
3. Кочегаров В.Г., Федяев Л.Г., Лавров И.А. Технология и машины лесосечных и лесовосстановительных работ. М.: Лесная промышленность, 1970. 400 с.

References:

1. Grigor'ev I.V., Hitrov E.G., Vlasov Ju.N., Ivanov V.A., Zhdanovich V.I. About need of additional researches of power consumption of process of a cross sawing of wood . Sistemy. Metody. Tehnologii, 2013. № 4 (20). P. 144-147.
2. Kuricyn V.N. Features of cutting of frozen wood . M.: Lesnaja promyshlennost', 1981. 105 p.
3. Kochegarov V.G., Fedjaev L.G., Lavrov I.A. Technology and cars of felling and reforestation works. M.: Lesnaja promyshlennost', 1970. 400 p.