

## Математическое описание и физика процесса раскалывания круглых лесоматериалов

Д.А. Ильюшенко<sup>1a</sup>, Б.М. Локштанов<sup>2b</sup>, В.В. Орлов<sup>2c</sup>, Л.А. Жукова<sup>2d</sup>, В.А. Иванов<sup>3e</sup>

<sup>1</sup> Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет им. С.М. Кирова, пер. Институтский, 5, Санкт-Петербург, Россия

<sup>2</sup> Военная академия связи им. С.М. Буденного, пр. Тихорецкий, 3, Санкт-Петербург, Россия

<sup>3</sup> Братский государственный университет, ул. Макаренко, 40, Братск, Россия

<sup>a</sup> dilium@yandex.ru, <sup>b</sup> blokshtanov@mail.ru, <sup>c</sup> artictvetal1987@gmail.com,

<sup>d</sup> zhukovalud@yandex.ru, <sup>e</sup> ivanovva55@mail.ru

<sup>a</sup> <https://orcid.org/0000-0002-7758-5110>, <sup>b</sup> <https://orcid.org/0000-0002-5390-1457>, <sup>c</sup> <https://orcid.org/0000-0002-1693-0515>,

<sup>d</sup> <https://orcid.org/0000-0003-1784-9564>, <sup>e</sup> <https://orcid.org/0000-0003-0707-972X>

Статья поступила 02.05.2023, принята 19.05.2023

*Раскалывание широко используется в лесной отрасли для комплексного использования древесины, в том числе для производства щепы из балансов и низкокачественных круглых лесоматериалов. В статье представлены сведения о свойствах древесины, позволяющих раскалывать круглые лесоматериалы вдоль волокон. Приведены различные формы колунов для раскалывания бревен на 2, 4, 6 и более частей в зависимости от требований производства. Рассмотрены силы, действующие на древесину при внедрении колуна и приводящие к раскалыванию бревна. Приведены формулы для расчета вертикальных и горизонтальных составляющих этих усилий, угла трения, коэффициента клина и коэффициента трения, позволяющие рассчитать показатели процесса раскалывания. Исследования процесса показали, что усилия раскалывания зависят от свойств древесины, в том числе от ее породы, строения, влажности, температуры, размеров. Рассчитаны числовые коэффициенты, учитывающие состояние древесины, определены параметры удельного сопротивления раскалыванию в зависимости от положения клина относительно волокон древесины. Приведены формулы для расчета величины хода клина, приводящего к раскалыванию бревна, особенно бревен длиной 1,0–1,5 м. Рассмотрены конструкции промышленных колунов и приведен расчет мощности привода цепного колуна, раскалывающего бревно длиной 1,0 м на две части. При этом рассчитана скорость движения цепи (упора), надвигающей бревно на колуна. В статье приведены схемы клиньев колунов и схемы промышленных колунов. Приводится график усилия на клине, вызывающего раскалывание бревна. На графике видно, что процесс раскалывания занимает 0,4 с, а остальное время, 0,5–2 с, затрачивается на развал частей бревна по его длине.*

**Ключевые слова:** круглые лесоматериалы; древесина; раскалывание; колуны; удаление гнили.

## Mathematical description and physics of the process of splitting round timber

D.A. Ilyushenko<sup>1a</sup>, B.M. Lokshtanov<sup>2b</sup>, V.V. Orlov<sup>2c</sup>, L.A. Zhukova<sup>2d</sup>, V.A. Ivanov<sup>3e</sup>

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

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

<sup>3</sup> Bratsk State University; 40, Makarenko St., Bratsk, Russia

<sup>a</sup> dilium@yandex.ru, <sup>b</sup> blokshtanov@mail.ru, <sup>c</sup> artictvetal1987@gmail.com,

<sup>d</sup> zhukovalud@yandex.ru, <sup>e</sup> ivanovva55@mail.ru

<sup>a</sup> <https://orcid.org/0000-0002-7758-5110>, <sup>b</sup> <https://orcid.org/0000-0002-5390-1457>, <sup>c</sup> <https://orcid.org/0000-0002-1693-0515>,

<sup>d</sup> <https://orcid.org/0000-0003-1784-9564>, <sup>e</sup> <https://orcid.org/0000-0003-0707-972X>

Received 02.05.2023, accepted 19.05.2023

*Wood splitting is widely used in the forest industry for the complex use of wood, including for the production of chips from pulpwood and low-quality roundwood. The article presents information on the properties of wood, which allows splitting round timber along the fibers. Various forms of cleavers for splitting logs into two, four, six or more parts are given, depending on the requirements of production. The forces acting on the wood during the introduction of the cleaver and leading to the splitting of the log are considered. Formulas are given for calculating the vertical and horizontal components of these forces, the friction angle, the wedge coefficient and the friction coefficient, which make it possible to calculate the indicators of the splitting process. Studies of the process have shown that the splitting forces depend on the properties of the wood, including the type of wood, its structure, humidity, temperature, and dimensions. Numerical coefficients are calculated that take into account the state of wood, and the parameters of specific splitting resistance are determined depending on the position of the wedge relative to the wood fibers. Formulas are given for calculating the magnitude of the wedge stroke, leading to the splitting of a log, especially logs 1.0-1.5 m long. The designs of industrial splitters are considered and the calculation of the drive power of a chain splitter that splits a log 1.0 m long into two parts is given. At the same time, the speed of movement of the chain (stop) pushing the log onto the cleaver is calculated. The article presents diagrams of wedges of cleavers, dia-*

grams of industrial cleavers, and a graph of the force on the wedge, leading to splitting of the log. The graph shows that the splitting process takes 0.4 seconds, and the rest of the time 0.5-2 seconds is spent on the collapse of the log parts along its length.

**Keywords:** round timber; wood; splitting; cleaver; rot removal.

**Введение.** Древесина обладает целым рядом свойств, характерных только для этого материала. К одному из таких свойств относится возможность механического расслоения (раскалывания) древесины вдоль волокон. Это свойство человечество отметило давно и широко его использует в настоящее время.

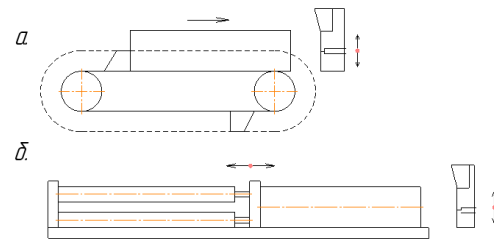
Раскалывание древесины широко применяется при получении колотых поленьев (дров) для сжигания их в топках (печах) жилых домов. Длина поленьев не превышает 50 см, толщина — 10 см, что позволяет плотно укладывать их в топку и регулировать степень нагрева печей.

Но больший интерес с точки зрения применения раскалывания древесины представляют промышленные колуны (рис. 1). Отмечено, что с увеличением длины бревен (более 50 см) процесс раскалывания ручным инструментом (колуном) затруднен не только тем, что усилия для раскалывания таких бревен значительно увеличиваются, но и тем, что на процессе раскалывания начинают сказываться свойства древесины (строение ствола — сбежистость, свилеватость, сучковатость) [1].

С другой стороны, для промышленных нужд требуется большая длина бревна (более 100 см), чтобы получить от колотых поленьев больше полезной продукции. В лесной отрасли колуны используют для получения поленьев, толщиной не превышающих 250–300 мм, если их используют для производства щепы на рубительных машинах, а диаметр бревен превышает размер патрона машины. Машины с размером патрона 250×250 или 250×300 мм широко применяют в цехах для переработки низкокачественной древесины. Мощность привода такой машины составляет 120–140 кВт.

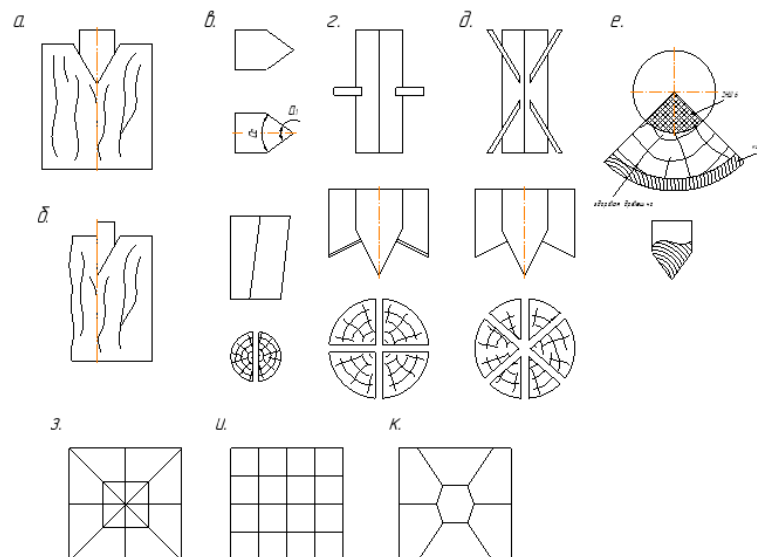
Если размер патрона увеличить, то и потребляемая мощность машины увеличивается значительно, что уже затрудняет ее использование.

Промышленные колуны (рис. 1.) применяют в технологии производства колотых балансов [2; 3] из низкокачественной древесины, которые используют для выработки целлюлозы и древесной массы. Причем в этом процессе используют два вида колунов: клиновой (рис. 2, *в-д*) для раскалывания бревен на 4–6 частей и кольцевой колун (рис. 2, *е*) для выкалывания гнилой части из полена.



**Рис. 1.** Виды промышленных колунов для раскалывания круглых лесоматериалов: *а* — цепной колун; *б* — гидроколун

В данной статье нами рассмотрены явления, происходящие при раскалывании древесины, выполнены расчеты прилагаемых усилий, необходимые для раскалывания различных пород древесины и сделаны выводы и предложения для создания новых высокопроизводительных устройств, обеспечивающих выпуск новой продукции с минимальными отходами.



**Рис. 2.** Виды колунов для раскалывания круглых лесоматериалов: *а* — симметричный клин; *б* — несимметричный клин; *в* — простой клин и клин с переменным углом лезвия и вид расколотого бревна на две части; *г* — колун для раскалывания бревна на четыре части; *д* — звездочный колун для раскалывания бревен на шесть частей; *е* — кольцевой колун для выколки гнилей от четвертины бревна; *ж* — колун с роликами на лезвии клина; *з* — решетчатый колун для раскалывания толстых бревен; *и* — решетчатый колун для получения поленьев для углежжения из толстых бревен; *к* — решетчатый колун для раскалывания толстых бревен с ядровой гнилью

Полученные поленья и плашки — это и есть коло-тые балансы. Но такие поленья и плашки можно использовать и для производства щепы в цехах лесозаготовительного производства и направлять щепу в ЦБП. Кроме того, колуны используют для получения радиальных черновых заготовок и кровельного материала [13; 14].

*Исследовательская часть.* Рассмотрим внедрение симметричного клина (колуна) в круглый лесоматериал диаметром  $d$  и длиной  $L$  (рис. 3.)

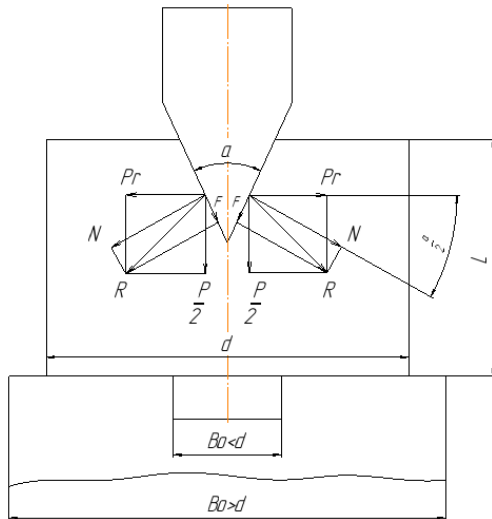


Рис. 3. Силы, действующие на бревно при внедрении клина колуна при раскалывании

Сам клин имеет лезвие с углом  $\alpha$ . В процессе внедрения клина в древесину под усилием  $P_l$  возникают следующие силы: нормальное давление  $N$  и сила трения  $F$ . Графически составим равнодействующую этих сил — получим силу  $R$ . Разложим силу  $R$  на горизонтальную  $P_l$  и вертикальную  $\frac{P^l}{2}$  составляющие.

Горизонтальная составляющая  $P_l$  представляет собой усилие, приложенное к откалываемой части круглого лесоматериала и направленное нормально к плоскости раскалывания.

Общее усилие на рабочей кромке клина  $P$  зависит от вертикальных усилий  $P^l$  и усилия на лезвии  $P_l$ :

$$P = P^l + P_l \quad (1)$$

или

$$P = a_3 P_l.$$

Если рассматривать конструкцию клина, то его можно сделать симметричным или несимметричным (рис. 2, а, б), тогда вертикальное усилие для симметричного клина будет:

$$P^l = 2P_l \cdot \text{tg}(\rho + \frac{\alpha}{2}) = 2P_l K, \quad (2)$$

где  $\rho$  — угол трения;  $K$  — коэффициент клина.

Для несимметричного клина  $P^l$  будет:

$$P^l = P_l \left[ \text{tg}(\rho + \frac{\alpha}{2}) + \text{tg}\rho \right] = P_l (K + \text{tg}\rho) \quad (3)$$

В формулах (2) и (3) применяются очень важные характеристики клина — коэффициент клина  $K$  и угол трения  $\rho$ :

$$K = \text{tg}(\rho + \frac{\alpha}{2}). \quad (4)$$

Тангенс угла трения — это коэффициент трения  $\mu$ :

$$\text{tg}\rho = \mu. \quad (5)$$

Коэффициент трения  $\mu$  зависит от конструкции самого клина и материала, подвергаемого раскалыванию: порода древесины, ее строение, влажность и температура [4].

Рассмотрим влияние этих показателей на процесс раскалывания. Обычно коэффициент трения металлического клина о древесину составляет  $\mu = 0,2 \div 0,3$ , но мы можем значительно снизить этот показатель, заменив трение скольжения трением качения путем изменения конструкции клина (рис. 2, ж), встроив в боковую поверхность клина ролики [5]. Это позволяет почти в 5–6 раз снизить величину трения и облегчить внедрение клина в древесину, особенно при раскалывании бревен длиной 1,0–1,5 м (до 3 м), так как для таких бревен усилия для раскалывания достигают значительных величин (рассмотрено ниже).

Горизонтальное усилие  $P_l$  зависит от величины сопротивления раскалыванию и размеров опоры  $B_0$ , на которую опирается раскалываемое бревно.

В общей случае горизонтальное усилие можно рассчитать по формуле:

$$P_l = \rho^l \cdot L \cdot d \cdot a_n \cdot a_g \cdot a_o. \quad (6)$$

Усилие раскалывания бревна для симметричного клина будет:

$$P = 2K\rho^l L d a_3 a_n a_g a_o. \quad (7)$$

Для несимметричного клина усилие раскалывания бревна будет:

$$P = (K + \text{tg}\rho)\rho^l L d a_3 a_n a_g a_o. \quad (8)$$

В этих формулах:  $\rho^l$  — удельное сопротивление раскалыванию,  $H/cm^2$ ;  $L$  — длина раскалываемого бревна,  $cm$ ;  $d$  — диаметр раскалываемого бревна,  $cm$ .

В формулах (6), (7), (8) употреблены коэффициенты, учитывающие состояние клина (его затупление  $a_3$ ) и свойства раскалываемой древесины [6; 7]. Эти коэффициенты имеют большой диапазон значений, от которых получают расчетные значения усилий на клине, необходимых для раскалывания бревна.

Для исследований были взяты различные породы древесины, сосна и береза — как основные представители хвойных и лиственных пород [8; 10]. Кроме того, для исследований были взяты такие породы, как лиственница и дуб для проверки некоторых выводов по раскалыванию бревен.

Для эталона породы древесины и влажности была взята сосна сухая, влажностью < 30 % (абс.), без сучков [9]. Исследования показали следующие значения коэффициентов (безразмерные величины):  $a_3$  — коэффициент затупления клина колуна 0,90–0,95;  $a_n$  —

эффиценты породы, для сосны  $a_n = 1,0$ , для березы  $a_n = 1,1-1,2$ ;  $av$  — коэффициенты влажности, сухая сосна  $a_g = 1,0$ , влажная сосна ( $>30\%$ )  $a_g = 1,1$ ;  $a_t$  — коэффициент температуры бревна, при положительных температурах и отрицательных от  $0^\circ$  до  $-5^\circ$   $a_t = 1,0$ , при отрицательных температурах от  $-5^\circ$  С и ниже  $a_t = 1,5$ ;  $a_o$  — коэффициент опоры для круглого лесоматериала, при  $V_0 < d$  (рис. 3)  $a_o = 1$ , при  $V_0 > d$  (рис. 3)  $a_o = 1,1-1,2$ .

При исследовании сухой лиственницы на раскалывание  $a_n = 1,2$  за счет большого содержания смолы в волокнах этой породы.

При исследовании сухого дуба на раскалывание  $a_n$  составил  $a_n = 1,3$  за счет более высоких прочностных показателей у этой породы [1].

Удельное сопротивление раскалыванию  $\rho^l$  зависит от строения дерева и положения клина относительно волокон древесины. При радиальном раскалывании сухой сосны значение  $\rho^l$  составило  $\rho^l = 8-10$  Н/см<sup>2</sup>. При тангентальном раскалывании (например, кольцевым клином (рис. 2, e)) значение  $\rho^l$  составит  $\rho^l = 10-12$  Н/см<sup>2</sup>.

Работу, затрачиваемую на раскалывание древесины, можно рассчитать по формуле:

$$W = mPL_o,$$

где  $P$  — наибольшее усилие на клине;  $m$  — коэффициент, учитывающий форму клина.

По опытным данным, для клина с постоянными углами (рис. 2, б)  $\alpha = 45-55^\circ$ ,  $m = 0,1$ ,  $\alpha = 10-20^\circ$ ,  $m = 0,5$ ; для клина с переменным углом (рис. 2, в)  $m = 0,6$ ; для кольцевого клина (рис. 2, e)  $m = 0,8$ ; для крестообразного клина (рис. 2, г)  $m = 0,5$ ; для клина в виде решетки (рис. 2, з-к)  $m = 0,9$ ;  $L_o$  — величина хода клина (величина хода материала) или величина хода устройства, необходимого для полного развала (разделения раскалываемых частей бревна).

Для устройств с подвижным клином для раскалывания бревен длиной  $L$  (1,0–1,5 м) ход клина (или толкателя)  $L_x$  высчитывается по формуле:

$$L_x = a + L_o,$$

где  $a$  — расстояние между подвижным клином и бревном (до работы устройства для раскалывания бревна), принимают  $a_{\min} = 0,1-0,15$  м:

$$L_o = fL \cos \frac{\alpha}{2},$$

где  $L$  — длина бревна (от 1,0 до 1,5 м) (рис. 3);  $\alpha$  — угол клина (рис. 3);  $f$  — коэффициент, зависящий от строения древесины (косослой, свилеватость, наличие сучьев и сучков),  $f = 1 + (0,06 \div 0,1)$ .

Для колунов с неподвижным клином:

$$L_o = 0,7L.$$

Угол клина  $\alpha$  может быть постоянным по длине клина, и его значения в пределах  $\alpha = 40-50^\circ$  (рис. 2, в), или угол клина делают переменным по длине клина, причем  $\alpha_1 = 10-15^\circ$ ,  $\alpha_2 = 50-60^\circ$ , а длина острой части клина  $l_0 = 0,05 \div 0,1$  м (рис. 2, в).

Такая форма лезвия клина позволяет ему легче внедриться на некоторую глубину бревна и образовать начало трещины. Затем основной клин при внедрении в эту трещину легко ее расширяет.

Колуны с острой частью клина предназначены для ручной колки бревен длиной 30–50 см на дрова и для промышленных колунов. У колунов с крестообразной и звездочной формой клиньев лезвия смещают на расстояние  $l^l = 0,05-0,1$  м относительно друг друга для снижения нагрузки при раскалывании (рис. 2, з).

Для промышленных колунов скорость перемещения клина или бревна принимают в пределах 0,3–0,5 м/с.

Мощность колунов, необходимую для раскалывания бревен, можно рассчитать по формуле:

$$N = \frac{P_{\max} U}{1000\eta},$$

где  $P_{\max}$  — наибольшие усилия раскалывания для симметричных колунов  $P_{\max} = P$ , рассчитываемая по формуле (7) для крестообразных клиньев  $P_{\max} = (1,3 \div 1,5)P$ , для звездочного клина  $P_{\max} = (1,5 \div 1,9)P$ .

По приведенным формулам для расчета усилий при раскалывании бревен можно рассчитать основные параметры колуна.

Колуны делают цепными (рис. 1, а), причем на тяговой цепи транспортера устанавливают упор. На цепь укладывают бревно, и с помощью упора бревно надвигают на клин. Форма клина может быть любой из рассматриваемых (рис. 1), упор надвигает бревно на клин почти на всю длину бревна (зазор между упором и клином 0,05 м). На цепном транспортере устанавливают не менее двух упоров, и считается, что такая конструкция колуна соответствует колуно непрерывного действия [11; 12].

Если колун выполняют с гидротолкателем (рис. 1, б), то такой колун будет уже периодического действия, так как толкатель должен отойти в исходное положение.

Приведем пример расчета колуна.

Колун цепной (рис. 1, а). Усилие на упоре  $P_y$ :

$$P_y = P_{\max} \left( \mu_T \frac{h_y}{l_y} + 1 \right),$$

где  $P_{\max}$  — наибольшие усилия раскалывания;  $\mu_T$  — коэффициент трения скольжения цепи и упора по раме цепного транспортера;  $h_y$  — высота упора;  $l_y$  — длина упора.

Тяговое усилие на цепи в процессе раскалывания:

$$T = 2m_T g L_o \mu_T + m_T g \mu_T + P_y,$$

где  $m_T$  — масса 1 м цепи с упорами;  $L_o$  — расстояние между осями звездочек цепного транспортера;  $m_T$  —

масса груза (бревна, чурака);  $\mu_T$  — коэффициент трения бревна по раме транспортера.

При работе цепного колуна полное натяжение цепи  $S$  (без учета динамических нагрузок):

$$S = T + S_0,$$

где  $S_0$  — первоначальное (монтажное) натяжение цепи  $S_0 = 500 \div 1000$  Н, принимаем 1000 Н.

Расстояние между осью натяжной звездочки транспортера и лезвием клина  $l_k = nt$  ( $t$  — шаг цепи,  $n$  — любое число). Скорость цепи колуна рассчитывается по величине сменной производительности колуна  $\Pi_0$  и рассчитывается по формуле:

$$v = \frac{\Pi_0 i (n_n - 1)}{T_c V c_1 c_3},$$

где  $i$  — расстояние между упорами на цепи  $i = (1,5 - 2,5)l$ ;  $l$  — длина бревна, подлежащего раскалыванию,  $l_{max} = 1,5$  м, для расчетов берем  $l = 1$  м;  $n_n$  — среднее число частей, на которое раскалывают бревно;  $T_c$  — продолжительность смены, с;  $V$  — средний объем бревна, подлежащего раскалыванию,  $m^3$ ;  $c_1$  — коэффициент использования упоров цепного транспортера  $c_1 = 0,7 - 0,8$ ;  $c_3$  — коэффициент использования рабочего времени  $c_3 = 0,85 - 0,90$ .

Для расчета промышленного цепного колуна примем следующие расчетные и справочные показатели:

- длина раскалываемого бревна  $l = 1$  м;
- средний объем бревна при диаметре  $d_{max} = 0,5$  м,  $V_{cp} = 0,03$   $m^3$ ;
- производительность колуна в смену примем  $\Pi_0 = 125$   $m^3$ ;
- угол клина  $\alpha_1 = 15^\circ$  и  $\alpha_2 = 55^\circ$ .

Цепь тяговая с шагом  $t = 100$  мм, высота упора  $h_y = 160$  мм, масса 1 м цепи с упором  $m_T = 20$  кг/м, длина упора  $l_y = 2t = 2 \cdot 100 = 200$  мм, расстояние между упорами 1,6 м.

Примем, что 80 % бревен раскалывают на 2 части, а 20 % — на 4 части.

Высота клина над цепью:

$$l = d_{max} + 0,1 = 0,5 + 0,1 = 0,6 \text{ м.}$$

Длина цепного транспортера  $L_0 = 2l$ ;  $L_0 = 2 \cdot 1 = 2$  м.

Плотность древесины  $\gamma = 800$  кг/ $m^3$ .

Масса бревна  $m_b = 0,8 \times 0,5^2 \times 1 \times 800 = 160$  кг.

Коэффициент клина при  $\mu = tg\rho = 0,2$ ;  $\rho = 11^\circ$ .

$$K = tg(11 + \frac{15}{2}) = 0,33.$$

Наибольшее усилие раскалыванию при  $a_n = 1,15$  (береза);  $av = 1,1$ ;  $a_3 = 1$ ;  $S = 9$  Н/ $cm^2$  будет:

$$P_{max} = 2 \cdot 0,33 \cdot 9 \cdot 100 \cdot 50 \cdot 1,1 \cdot 1,15 \cdot 1,1 \cdot 1,0 = 41300 \text{ Н.}$$

Усилие на упоре при  $\mu_T = 0,2$ ,

$$P_y = 41300(0,2 \frac{0,16}{0,2} + 1) = 48000 \text{ Н.}$$

Тяговое усилие на цепи при  $\mu_l = 0,4$ ,

$$T = 2 \cdot 20 \cdot 9,81 \cdot 2 \cdot 0,2 + 160 \cdot 9,81 \cdot 0,4 + 48000 = 48780 \text{ Н.}$$

Среднее число частей, на которые делится (раскалывается) бревно:

$$n_n = 0,8 \cdot 2 + 0,2 \cdot 4 = 2,4.$$

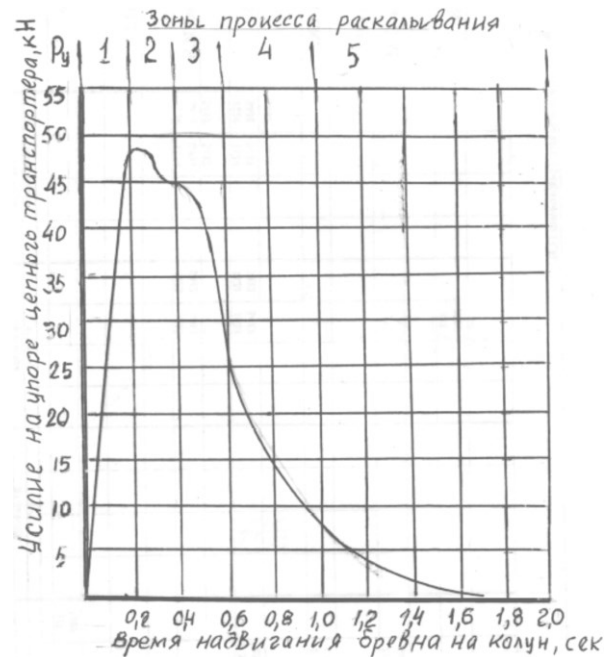
Скорость цепи при  $c_1 = 0,8$ ,  $c_3 = 0,85$  будет:

$$U = \frac{125 \cdot 1,69(2,4 - 1)}{7 \cdot 3600 \cdot 0,03 \cdot 0,8 \cdot 0,85} = 0,55 \text{ м/с.}$$

Мощность двигателя цепного транспортера колуна при  $\eta = 0,8$ :

$$N = \frac{48780 \cdot 0,55}{1000 \cdot 0,8} = 33,4 \text{ кВт.}$$

Так как раскалывание бревна происходит за 0,2–0,4 с (рис. 4) и повторяется через каждые 2–3 с, мощность колуна можно снизить почти в 2 раза (это возможно для электродвигателя асинхронного), и мы можем на цепной колуна поставить двигатель мощностью 16–17 кВт.



**Рис. 4.** График зависимости усилия на упоре цепного колуна при раскалывании бревна диаметром 50 см, длиной 1,5 м на 2 части: 1 — зона внедрения лезвия клина в древесину; 2 — зона образования трещины в древесине; 3 — зона распространения трещины в древесине; 4 — зона начала развала частей раскалываемого бревна; 5 — зона полного развала расколотых частей бревна

**Заключение.** На основании проведенного анализа сил, действующих при раскалывании круглых лесоматериалов, можно выполнить расчеты по определению мощности механических промышленных колунов, созданию новых их конструкций, и создавать системы по комплексному использованию древесины, где колуны включены в поточные линии. При оснащении этих линий автоматизированными системами управления, в частности, управление поставкой типа клина колуна в

зависимости от качества лесоматериала и его диаметра, можно получать поленья требуемого размера и каче-

ства, позволяющие в дальнейшем получать нужную конечную продукцию с повышенным выходом.

#### *Литература*

1. Перельгин А.М. Дровесиноведенье. 2-е изд., перераб. и доп. Б.Н. Уголевым. М.: Лесная пром-сть, 1969. 316 с.
2. ГОСТ 9462-2016 Лесоматериалы круглые лиственных пород. Технические условия. Введ. 01.04.2018. М.: Стандартиформ, 2017. 6 с.
3. ГОСТ 9463-2016 Лесоматериалы круглые хвойных пород. Технические условия. Введ. 01.05.2017. М.: Стандартиформ, 2016. 7 с.
4. Уголев Б.Н. Дровесиноведение и лесное товароведение. М.: Издат. центр «Академия», 2006. 272 с.
5. Рахманов С.И., Гороховский К.Ф. Машины и оборудование лесоразработок. М.: Лесная пром-сть, 1967. 530 с.
6. Онегин В.И., Чубинский А.Н. Промышленное использование дровесины осины - эффективное направление устойчивого управления лесами // Записки Горного ин-та. Экология и рациональное природо использование. 2001. Т. 149. С. 225-227.
7. Nakamura N. Development of measuring Yong's modulus of planting stock // Journal of the Japanese Forestry Society. 1997. V. 79, iss. 1. P. 43-48.
8. Леонтьев Л.Л. Дровесиноведение и лесное товароведение. СПб.: Изд-во Лань, 2007. 416 с.
9. Пятакин В.И., Салминен Э.О., Бит Ю.А. Лесоэксплуатация. М.: Академия, 2006. 320 с.
10. Hsu Linda C.-Y., Chauhan Shakti S. Nick King Modulus of elasticity of stemwood vs branchwood in 7-year-old Pinus radiata families // New Zealand Journal Forestry Science. 2003. V. 33. P. 35-46.
11. Бершадский А.Л., Цветкова Н.И. Резание дровесины. Минск: Высшая шк., 1975. 303 с.
12. Михайличенко А.Л., Сметанин И.С. Дровесиноведение и лесное товароведение. М.: Лесная пром-сть, 2015. 223 с.
13. Черных А.Г., Ильюшенков Л.В. Получение радиальных черновых заготовок // Изв. высш. учеб. заведений. Лесной журнал. 2006. № 3. С. 46-51.
14. Борисов А.Ю. Дровесина осины как материал для устройства кровли // Учен. записки Петрозаводского гос. ун-та. Сер. Естественные и технические науки. 2014. Т. 1. № 8 (145). С. 87-90.

#### *References*

1. Perelygin A.M. Wood science. 2-е изд., pererab. i dop. B.N. Ugolevym. M.: Lesnaya prom-st', 1969. 316 p.
2. GOST 9462-2016 Round hardwood timber. Technical conditions. Vved. 01.04.2018. M.: Standartinform, 2017. 6 p.
3. GOST 9463-2016 Round softwood timber. Technical conditions. Vved. 01.05.2017. M.: Standartinform, 2016. 7 p.
4. Ugolev B.N. Wood science and forest commodity science. M.: Izdat. centr «Akademiya», 2006. 272 p.
5. Rahmanov S.I., Gorohovskij K.F. Logging machines and equipment. M.: Lesnaya prom-st', 1967. 530 p.
6. Onegin V.I., Chubinskij A.N. Industrial use of aspen wood is an effective direction of sustainable forest management // Journal of Mining Institute. Ecology and rational use of natural resources. 2001. V. 149. P. 225-227.
7. Nakamura N. Development of measuring Yong's modulus of planting stock // Journal of the Japanese Forestry Society. 1997. V. 79, iss. 1. P. 43-48.
8. Leont'ev L.L. Wood science and forest commodity science. SPb.: Izd-vo Lan', 2007. 416 p.
9. Patakin V.I., Salminen E.O., Bit YU.A. Forest exploitation. M.: Akademiya, 2006. 320 p.
10. Hsu Linda C.-Y., Chauhan Shakti S. Nick King Modulus of elasticity of stemwood vs branchwood in 7-year-old Pinus radiata families // New Zealand Journal Forestry Science. 2003. V. 33. P. 35-46.
11. Bershadskij A.L., Cvetkova N.I. Wood cutting. Minsk: Vysshaya shk., 1975. 303 p.
12. Mihajlichenko A.L., Smetanin I.S. Wood science and forest commodity science. M.: Lesnaya prom-st', 2015. 223 p.
13. CHernyh A.G., Il'yushenkov L.V. Obtaining radial rough blanks // Bulletin of higher educational institutions. Lesnoy zhurnal (Forestry journal). 2006. № 3. P. 46-51.
14. Borisov A.YU. Aspen wood as a material for roofing // Proceedings of Petrozavodsk State University. Natural & Engineering Sciences. 2014. V. 1. № 8 (145). P. 87-90.