

Математическое описание и физика процесса раскалывания круглых лесоматериалов

Д.А. Ильюшенко^{1a}, Б.М. Локштанов^{1b}, В.В. Орлов^{1c}, Л.А. Жукова^{1d},
В.А. Иванов^{3e}, М.В. Степанищева^{3f}

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

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

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

^a dilium@yandex.ru, ^b blokshtanov@mail.ru, ^c artictvetal1987@gmail.com,

^d zhukovalud@yandex.ru, ^e ivanovva55@mail.ru, ^f marina01031977@inbox.ru

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

^d <https://orcid.org/0000-0003-1784-9564>, ^e <https://orcid.org/0000-0003-0707-972X>, ^f <https://orcid.org/0000-0003-4867-3901>

Статья поступила 13.11.2022, принята 21.11.2022

Раскалывание древесины широко применяется в лесной отрасли для комплексного использования древесины, в том числе для производства щепы из балансов и низкокачественных круглых лесоматериалов. В статье представлены сведения по свойствам древесины, позволяющим 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 рассчитывать показатели процесса раскалывания. Исследования процесса показали, что усилия раскалывания зависят от свойств древесины, в том числе от породы, ее 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, в частности, бревен длиной 1,0–1,5 м. Рассмотрены конструкции промышленных колунов, приведен расчет мощности привода цепного колуна, раскалывающего бревно длиной 1,0 м на две части. При этом рассчитана скорость движения цепи (упора), надвигающего бревно на колун. В статье приведены схемы клиньев колунов, схемы промышленных колунов, и дан график усилия на клине, приводящего к раскалыванию бревна. На приведенном графике видно, что процесс раскалывания занимает 0,4 сек, а остальное время (0,5–2 сек) затрачивается на развал частей бревна по его длине.

Ключевые слова: круглые лесоматериалы; древесина; раскалывание; колун; удаление гнили.

Mathematical description and physics of the process of splitting round timber

D.A. Ilyushenko^{1a}, B.M. Lokshtanov^{2b}, V.V. Orlov^{2c}, L.A. Zhukova^{2d},
V.A. Ivanov^{3e}, M.V. Stepanishcheva^{3f}

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

^a dilium@yandex.ru, ^b blokshtanov@mail.ru, ^c artictvetal1987@gmail.com,

^d zhukovalud@yandex.ru, ^e ivanovva55@mail.ru, ^f marina01031977@inbox.ru

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

^d <https://orcid.org/0000-0003-1784-9564>, ^e <https://orcid.org/0000-0003-0707-972X>, ^f <https://orcid.org/0000-0003-4867-3901>

Received 13.11.2022, accepted 21.11.2022

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 was calculated. The article presents diagrams of wedges of cleavers, diagrams of industrial cleavers, and a graph of the force on the wedge, leading to splitting of the log. The above 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 для получения 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 печку 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 усилие для раскалывания таких бревен значительно увеличивается, 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 максимум полезной продукции. В лесной отрасли колуны используют для получе-

ния поленьев, толщиной не превышающих 250–300 мм, если их используют для производства щепы на рубительных машинах, и 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 значительно увеличивается, 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: клиновидный (рис. 2, в–ж) [4] для раскалывания бревен на 4–6 частей и кольцевой колун (рис. 1, 2, з), для выкалывания гнилой части из полена. Полученные поленья и плашки — это и есть колотые 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 [5; 6].

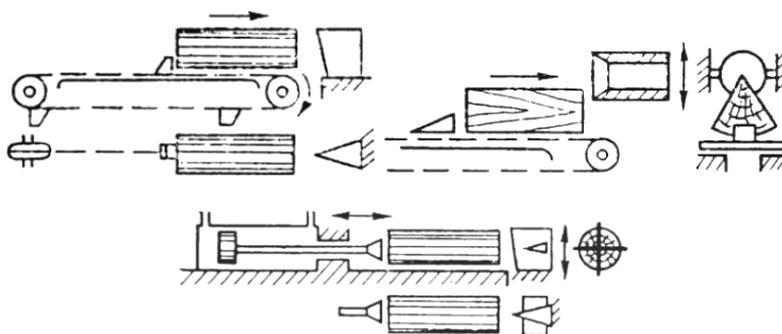


Рис. 1. Виды промышленных колунов для раскалывания круглых лесоматериалов: слева — цепной колун, снизу — гидроколун; справа — колун для выколки гнили из четвертины бревна

При раскалывании толстых бревен применяют решетчатые колуны (рис. 2, и–л). Решетчатый колун (рис. 2, л) можно применять для раскалывания толстых бревен, содержащих ядровую гниль, и сразу получать колотые балансы без гнили.

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

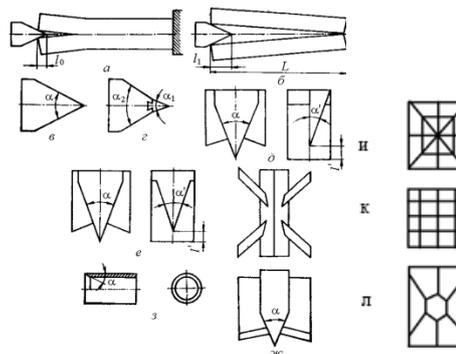


Рис. 2. Виды колунов для раскалывания круглых лесоматериалов: а — глубина внедрения клина; б — раскалывание бревна длиной L ; в — простой симметричный клин; г — симметричный клин с переменным углом; д

— крестообразный клин несимметричный; *e* — крестообразный клин симметричный; *жс* — звездчатый клин для раскалывания бревна на 6 частей; *з* — кольцевой клин для выколки гнили из поленьев; *и* — решетчатый колун для раскалывания толстых бревен с их центровкой; *к* — решетчатый колун для раскалывания бревен без центровки; *л* — решетчатый колун для раскалывания толстых бревен с центровкой и удаления ядровой гнили

Исследовательская часть. Рассмотрим внедрение симметричного клина (колуна) в круглый лесоматериал диаметром *d* и длиной *L* (рис.3 [7]).

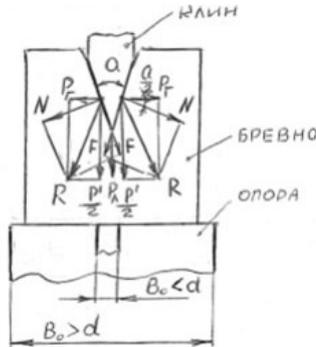


Рис. 3. Силы, действующие на бревно при раскалывании клином колуна

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

Горизонтальная составляющая P_G представляет собой усилие, приложенное к откалываемой части круглого лесоматериала и направлено нормально к плоскости раскалывания.

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

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

или:

$$P = a_3 P_G.$$

Если рассматривать конструкцию клина, то его можно сделать симметричным или несимметричным, тогда вертикальное усилие для симметричного клина будет:

$$P^l = 2P_G \operatorname{tg}\left(\rho + \frac{\alpha}{2}\right) = 2P_G K, \quad (2)$$

где ρ — угол трения; K — коэффициент клина.

Для несимметричного клина P^l будет:

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

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

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

Тангенс угла трения — это коэффициента трения μ :

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

Коэффициент трения μ зависит от конструкции самого клина и материала, подвергаемого раскалыванию, — породы древесины, ее строения, влажности и температуры [8].

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,строив в боковую поверхность клина ролики [9]. 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_G зависит от величины сопротивления раскалыванию и размеров опоры B_0 , на которую опирается раскалываемое бревно.

В общем случае горизонтальное усилие можно считать по формуле:

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

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:

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

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

В формулах (6)–(8) употреблены коэффициенты, учитывающие состояние клина (его затупление a_3) и свойства раскалываемой древесины [10; 11]. Эти коэффициенты имеют большой диапазон значений, от которых получают расчетные значения усилий на клине, необходимые для раскалывания бревна.

Для исследований были взяты различные породы древесины, сосна и береза как основные представители хвойных и лиственных пород [12; 13]. 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 [14]. Исследования показали следующие значения коэффициентов (безразмерные величины):

a_3 — коэффициент затупления клина колуна 0,90–0,95; a_n — коэффициенты породы для сосны $a_n = 1,0$, для березы $a_n = 1,1–1,2$; a_g — 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° до -5 °С, $a_t = 1,0$; при отрицательных температурах от -5 °С и ниже $a_t = 1,5$; a_o — коэффициент опоры для круглого лесоматериала:

при $B_0 < d$ (рис. 3) $a_0 = 1$;

при $B_0 > d$ (рис. 3) $a_0 = 1,1-1,2$.

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.

Удельное сопротивление раскалыванию ρ^l зависит от строения дерева и положения клина относительно волокон древесины. При радиальном раскалывании сухой сосны значение ρ^l составило $\rho^l = 8-10$ Н/см². При тангентальном раскалывании (например, кольцевым клином (рис. 2, з), значение ρ^l составило $\rho^l = 10-12$ Н/см².

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

$$W = mPL_b,$$

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

По опытным данным, для клина с постоянными углами (рис. 2, в) $\alpha = 45-55^\circ$ $m = 0,1$, $\alpha = 10-20^\circ$ $m = 0,5$; для клина с переменным углом (рис. 2, з) $m = 0,6$; для кольцевого клина (рис. 2, з) $m = 0,8$, для крестообразного клина (рис. 2, ж) $m = 0,5$, для клина в виде решетки (рис. 2, и-л) $m = 0,9$;

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,

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

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

Для колунов с неподвижным клином:

$$L_o = 0,7L.$$

Угол клина α 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 позволяет клину 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 друг относительно 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. 2), 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 [15; 16].

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

Приведем пример расчета колуна.

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

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

где P_{\max} — наибольшие усилия раскалывания; μ_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:

$$T = 2m_T g L_0 \mu_T + m_T g \mu_T + P_y,$$

где m_T — масса 1 м цепи с упорами; L_0 — расстояние между осями звездочек цепного транспортера; m_T — масса груза (бревна, чурака); μ_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 1 000 Н.

Расстояние между осью натяжной звездочки транспортера и лезвия клина $l_k = nt$ (t — шаг цепи, n — любое число). Скорость цепи колуна рассчитывается по величине сменной производительности колуна Π_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 которые раскалывают бревно; T_c — продолжительность смены, с; V — средний объем бревна, подлежащего раскалыванию, м^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, $V_{cp} = 0,03$ м^3 ;
- производительность колуна в смену примем $\Pi_0 = 125$ м^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 $l_y = 2t \times 100 = 200$ мм, расстояние между упорами 1,6 м.

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

Высота клина над цепью:

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

Длина цепного транспортера $L_0 = 2l$;

$$L_0 = 2 \cdot 1 = 2 \text{ м}.$$

Плотность древесины $\gamma = 800$ кг/м³. Масса бревна $m_b = 0,78 \times 0,5^2 \times 1 \times 800 = 160$ кг. Коэффициент клина при $\mu = \text{tg} \rho = 0,2$; $\rho = 11^\circ$.

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

Наибольшее усилие раскалыванию при $a_n = 1,15$ (береза); $av = 1,1$; $a_3 = 1$; $\rho^l = 9$ Н/см² 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 $\mu_T = 0,4$:

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

Среднее число частей, на которое 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 сек (рис. 4) и повторяется через каждые 2–3 сек, то мощность колуна можно снизить почти в 2 раза (это возможно для электродвигателя асинхронного), то мы можем на цепной колуна поставить двигатель мощностью 16–17 кВт.

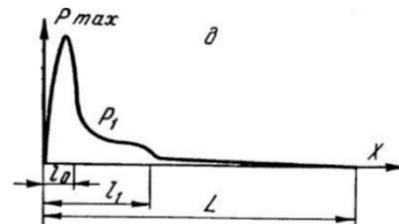


Рис. 4. График изменения усилия P при внедрении клина в бревно: l_0 — начальная глубина внедрения клина, составляющая 20–25 частей общей длины бревна; l_1 — величина углубления клина, при которой бревно раскалывается, составляет 5–6 частей дны бревна; L — длина раскалываемого бревна; P_{\max} — наибольшее значение усилия внедрения клина в древесину достигает 45–50 кН; P_1 — усилие на клине при развале частей бревна, составляет 5–10 кН; δ — зона раскалывания 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, управлением поставкой типа клина колуна в зависимости от качества лесоматериала и его диаметра, можно получать поленья требуемого размера и качества, позволяющие в

дальнейшем получать нужную конечную продукцию с повышенным выходом.

Литература

1. Перельгин А.М. Древоисоведенье. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Лесная пром-сть, 1969. 316 с.
2. ГОСТ 9462-2016. Лесоматериалы круглые лиственных пород. Введ. 01.04.2018. М.: Стандартиформ, 2017. 6 с.
3. ГОСТ 9463-2016. Лесоматериалы круглые хвойных пород. Введ. 01.05.2017. М.: Стандартиформ, 2018. 6 с.
4. Завойских Г.И., Протас П.А., Лой В.Н. Первичная переработка древесного сырья на лесозаготовительных предприятиях. Минск: БГТУ, 2010. 133 с.
5. Черных А.Г., Ильюшенко Л.В. Получение радиальных черновых заготовок // Изв. высш. учеб. заведений. Лесной журнал. 2006. № 3. С. 46-51.
6. Борисов А.Ю. Древесина 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.
7. Локштанов Б.М., Пейович Д.Д., Елисеев А.А. Процесс раскалывания бревен в технологии комплексного использования древесины // Актуальные проблемы развития лесного комплекса: материалы науч.-практической конф. (1-2 дек. 2015 г.). Вологда: ВоГУ, 2016. С. 26-28.
8. Уголев Б.Н. Древоисоведение и лесное товароведение. М.: Издательский центр «Академия», 2006. 272 с.
9. Рахманов С.И., Гроховский К.Ф. Машины и оборудование лесоразработок. М.: Лесная пром-сть, 1967. 530 с.
10. Онегин В.И., Чубинский А.Н. Промышленное использование древесины осины - эффективное направление устойчивого управления лесами // Записки Горного ин-та. Экология и рациональное природопользование. 2001. Т. 149. С. 225-227.
11. 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.
12. Леонтьев Л.Л. Древоисоведение и лесное товароведение. СПб.: Изд-во «Лань», 2007. 416 с.
13. 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.
14. Пятакин В.И., Салминен Э.О., Бит Ю.А. Лесоэксплуатация. М.: Издательский центр «Академия», 2006. 320 с.
15. Бершадский А.Л., Цветкова Н.И. Резание древесины. Минск Изд-во «Высш. школа», 1975. 303 с.
16. Михайличенко А.Л., Сметанин И.С. Древоисоведение и лесное товароведение. М.: Лесная пром-сть, 2015. 223 с.

References

1. Perelygin A.M. Wood science. 2-e izd., pererab. i dop. M.: Lesnaya prom-st', 1969. 316 p.
2. GOST 9462-2016. Round hardwood timber. Vved. 01.04.2018. M.: Standartinform, 2017. 6 p.
3. GOST 9463-2016. Round softwood timber. Vved. 01.05.2017. M.: Standartinform, 2018. 6 p.
4. Zavojskih G.I., Protas P.A., Loj V.N. Primary processing of wood raw materials at logging enterprises. Minsk: BGTU, 2010. 133 p.
5. 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.
6. 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.
7. Lokshtanov B.M., Pejovich D.D., Eliseev A.A. The process of splitting logs in the technology of integrated use of wood // Aktual'nye problemy razvitiya lesnogo kompleksa: materialy nauch.-prakticheskoy konf. (1-2 dek. 2015 g.). Vologda: VoGU, 2016. P. 26-28.
8. Ugolev B.N. Wood science and forest commodity science. M.: Izdatel'skij centr «Akademiya», 2006. 272 p.
9. Rahmanov S.I., Grohovskij K.F. Logging machines and equipment. M.: Lesnaya prom-st', 1967. 530 p.
10. Onegin V.I., CHubinskij A.N. Industrial use of aspen wood is an effective direction of sustainable forest management // Journal of Mining Institute. Ekologiya i racional'noe prirodopol'zovanie. 2001. V. 149. P. 225-227.
11. 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.
12. Leont'ev L.L. Wood science and forest commodity science. SPb.: Izd-vo «Lan'», 2007. 416 p.
13. 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.
14. Patyakin V.I., Salminen E.O., Bit YU.A. Forest exploitation. M.: Izdatel'skij centr «Akademiya», 2006. 320 p.
15. Bershadskij A.L., Cvetkova N.I. Wood cutting. Minsk Izd-vo «Vyssh. shkola», 1975. 303 p.
16. Mihajlichenko A.L., Smetanin I.S. Wood science and forest commodity science. M.: Lesnaya prom-st', 2015. 223 p.