



Научная статья

УДК 674.093

DOI: 10.37482/0536-1036-2024-1-152-167

### Повышение выхода пиломатериалов при распиловке с брусовкой

*А.А. Каптелкин*<sup>✉</sup>, ассистент; *ResearcherID: AAC-8654-2019*,

*ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8470-3496>*

*Н.В. Куликова*, канд. техн. наук, доц.; *ResearcherID: AGU-5552-2022*,

*ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6631-5246>*

*С.Н. Рыкунин*, д-р техн. наук, проф.; *ResearcherID: N-3182-2013*,

*ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4471-4668>*

Мытищинский филиал Московского государственного технического университета им. Н.Э. Баумана, ул. 1-я Институтская, д. 1, г. Мытищи, Московская обл., Россия, 141005; [kaptelkin94@mail.ru](mailto:kaptelkin94@mail.ru)<sup>✉</sup>, [stelons@mail.ru](mailto:stelons@mail.ru), [rikunin@mgul.ac.ru](mailto:rikunin@mgul.ac.ru)

Поступила в редакцию 31.03.23 / Одобрена после рецензирования 28.06.23 / Принята к печати 30.06.23

**Аннотация.** В теории раскроя принимается, что объемный выход обрезных пиломатериалов из бруса максимального объема будет максимальным. В соответствии с действующими стандартами, обрезные пиломатериалы должны иметь заданные толщину и ширину. Часть бруса из-за неkratности ширины его пласти и толщины пиломатериалов не используется для производства центральных пиломатериалов. Объем такого бруса при получении обрезных центральных пиломатериалов не учитывается в теории раскроя, и вывод о том, что их объемный выход из бруса максимального объема будет максимальным, неочевиден. При распиловке с брусовкой в первом проходе получается двухкантный брус. При этом из-за смещения перед распиловкой оси круглого лесоматериала от центра постава образуются узкая и широкая пласти. Рассматривается размерообразование узкой пласти двухкантного бруса, т. к. именно ее размеры определяют объемный выход центральных обрезных пиломатериалов. В пределах узкой пласти двухкантного бруса выделено 2 зоны: безусловная и вероятностная. В безусловной зоне получается целое число обрезных досок. В диапазоне диаметров круглых лесоматериалов 17...29 см только круглые лесоматериалы с диаметрами 21 и 25 см дали брусья максимального размера, но объемный выход центральных обрезных пиломатериалов для этих диаметров не является максимальным. Из этого следует, что брус максимального объема не гарантирует максимальный объемный выход центральных обрезных пиломатериалов. В вероятностную зону попадает нецелое число обрезных досок. Определить их количество аналитическим способом невозможно, поэтому использовались методы теории вероятностей. Была выведена функция распределения узкой пласти двухкантного бруса. Чтобы воспользоваться функцией распределения для получения нецелого числа обрезных досок рассчитывалась ширина вероятностной зоны, а также размер части вероятностной зоны, определяющей получение нецелого числа обрезных досок и доверительный интервал. Далее по таблице «Функция распределения ширины узкой пласти двухкантного бруса» определено нецелое число обрезных досок. Получение

© Каптелкин А.А., Куликова Н.В., Рыкунин С.Н., 2024



Статья опубликована в открытом доступе и распространяется на условиях лицензии CC BY 4.0

представленных нецелым числом обрезных досок из двухкантных брусьев на практике может быть реализовано с использованием сменных или смежных поставов. Приведенные результаты возможно применять при определении количества сортировочных групп круглых лесоматериалов перед подачей их в лесопильный цех и при изменении технологии производства центральных обрезных пиломатериалов.

**Ключевые слова:** круглые лесоматериалы, постав, брус, обрезные пиломатериалы, безусловная зона, вероятностная зона

**Для цитирования:** Каптелкин А.А., Куликова Н.В., Рыкунин С.Н. Повышение выхода пиломатериалов при распиловке с брусровкой // Изв. вузов. Лесн. журн. 2024. № 1. С. 152–167. <https://doi.org/10.37482/0536-1036-2024-1-152-167>

Original article

## Increasing Sawn Timber Yield in Cant Sawing

**Aleksandr A. Kaptelkin**<sup>✉</sup>, Assistant; ResearcherID: [AAC-8654-2019](https://orcid.org/0000-0002-8470-3496),

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8470-3496>

**Nadezhda V. Kulikova**, Candidate of Engineering, Assoc. Prof.;

ResearcherID: [AGU-5552-2022](https://orcid.org/0000-0002-6631-5246), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6631-5246>

**Stanislav N. Rykunin**, Doctor of Engineering, Prof.; ResearcherID: [N-3182-2013](https://orcid.org/0000-0002-4471-4668),

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4471-4668>

Bauman Moscow State Technical University (Mytishchi Branch), ul. 1-ya Institutskaya, 1, Mytishchi, Moscow Region, 141005, Russian Federation; [kaptelkin94@mail.ru](mailto:kaptelkin94@mail.ru)<sup>✉</sup>, [stelons@mail.ru](mailto:stelons@mail.ru), [rikunin@mgul.ac.ru](mailto:rikunin@mgul.ac.ru)

Received on March 31, 2023 / Approved after reviewing on June 28, 2023 / Accepted on June 30, 2023

**Abstract.** The log cutting theory accepts that the volumetric yield of edged sawn timber from the maximum volume cant will be maximal. According to current standards, edged sawn timber must have specified thickness and width. Some cants are not used for the production of centre yield because the widths of their faces are aliquant of the centre yield thickness. The volume of such cant in centre yield production is not taken into account in the log cutting theory and the conclusion that their volumetric yield from the maximum volume cant will be maximal is not obvious. The 1st stage of cant sawing is obtaining a two-edged cant from a log. At that, due to the deviation of the roundwood axis from the centre line of the sawing pattern, a narrow and a wide face are obtained. We consider the dimensioning of the narrow face of a two-edged cant, as its size determines the volumetric yield of centre yield. Within the narrow face of a two-edged cant 2 zones are allocated: unconditional and probabilistic. In the unconditional zone, an integer number of edged boards is obtained. In the range of roundwood diameters from 17 to 29 cm, only the roundwood with the diameters of 21 and 25 cm have provided the maximum volume two-edged cants, but the volumetric yield of the centre yield from the roundwood of these diameters has not been maximal. It follows from this that the maximum volume cant does not guarantee the maximal volumetric centre yield. The probability zone includes a non-integer number of edged boards. It is impossible to determine their number in an analytical way, so the methods of probability theory have been used. The distribution function of the narrow face of a two-edged cant has been derived. In order to use the distribution function to obtain a non-integer number of edged boards, the width of the probability zone has been calculated, as well as the size of the part of the probability

zone decisive in obtaining a non-integer number of edged boards and the confidence interval. Further, the “Distribution function of the width of the narrow face of a two-edged cant” table was used to determine the non-integer number of edged boards. Obtaining the non-integer number of the edged boards from a two-edged cant can be implemented in practice using changeable or adjacent sawing patterns. The presented results can be applied when determining the number of sorting groups of roundwood before its feeding to the sawmill and when changing the technology of centre yield production.

**Keywords:** roundwood, sawing pattern, cant, edged sawn timber, unconditional zone, probabilistic zone

**For citation:** Kaptelkin A.A., Kulikova N.V., Rykunin S.N. Increasing Sawn Timber Yield in Cant Sawing. *Lesnoy Zhurnal* = Russian Forestry Journal, 2024, no. 1, pp. 152–167. (In Russ.). <https://doi.org/10.37482/0536-1036-2024-1-152-167>

### Введение

Теория раскря круглых лесоматериалов на пиломатериалы способствует формированию обеспечивающих увеличение спроса [10–12, 30] и повышение потребительской ценности параметров пиломатериалов [6, 7, 22, 24–29]. При этом учет технологических ограничений и направленность на улучшение технико-экономических показателей отмечается на всех этапах развития теории [1–5, 8, 9, 13–20].

Способ раскря с брусковкой круглых лесоматериалов на пиломатериалы является основным. В России ежегодно для производства пиломатериалов используется около 80 млн м<sup>3</sup> круглых лесоматериалов. Параметры двухкантного бруса обеспечивают объемный выход центральных пиломатериалов в пределах пласти. В теории раскря решение этой задачи сводится к определению наибольшего по площади прямоугольника, вписывающегося в торец круглого лесоматериала в верхнем отрезе [18]. Наибольший по площади прямоугольник, вписанный в круг, это квадрат с шириной стороны:

$$B = \frac{d}{\sqrt{2}} = 0,707d,$$

где  $d$  – диаметр круглого лесоматериала в верхнем отрезе.

Площадь поперечного сечения бруса максимального объема

$$F = B^2 = 0,5d^2.$$

В теории раскря принимается, что объемный выход обрезных пиломатериалов из бруса максимального объема будет максимальным [2].

В соответствии с действующими стандартами обрезные пиломатериалы должны иметь заданные толщину и ширину. Часть бруса из-за некратности ширины пласти бруса и толщины пиломатериалов не используется для производства центральных пиломатериалов. Объем неиспользуемой части пласти бруса при получении обрезных центральных пиломатериалов не учитывается в теории раскря, и вывод о том, что объемный выход обрезных центральных пиломатериалов из бруса максимального объема будет максимальным, может быть неочевидным. Толщина бруса для получения обрезных пиломатериалов номинальных размеров в большинстве случаев меньше или больше толщины бруса максимального объема, но площадь его поперечного сечения не превышает площадь бруса максимального сечения.

В табл. 1 представлены отношения площадей поперечных сечений брусьев для получения пиломатериалов номинальных размеров к площади поперечного сечения бруса максимального объема.

Таблица 1

**Отношение площади поперечного сечения бруса для получения пиломатериалов номинальных размеров к площади поперечного сечения бруса максимального объема**

**Ratio of the cross-sectional area of a cant for obtaining sawn timber of nominal dimensions to the cross-sectional area of the maximum volume cant**

Толщина бруса $H$	Ширина пласти бруса $B$	Площадь поперечного сечения $HB, d^2$	Отношение площадей поперечных сечений брусьев к площади сечения бруса максимального объема, %
в долях диаметра			
0,50	0,87	0,435	87,0
0,55	0,84	0,462	91,3
0,60	0,80	0,480	96,0
0,65	0,76	0,494	98,8
0,71	0,71	0,500	100,0
0,75	0,66	0,495	99,0
0,80	0,60	0,480	96,0
0,85	0,53	0,470	90,0
0,90	0,44	0,396	81,5

Из представленных в табл. 1 данных следует, что площади поперечного сечения брусьев при толщине  $0,6d$  и  $0,8d$  одинаковы, а объемы при одинаковой длине равны. Таким образом, ширина пласти бруса при толщине  $0,6d - 0,8d$ , а при  $0,8d - 0,6d$  [2]. Вероятность получения большего количества обрезных досок в пределах пласти бруса будет у бруса с шириной пласти  $0,8d$  и толщиной  $0,6d$ . При этом ширина досок из тонкого бруса меньше. Принятие решения о предпочтительном размере толщины двухкантного бруса возможно после нахождения объема толстых досок по сравниваемым вариантам.

Брус максимального объема не гарантирует получение максимального объема досок обрезных пиломатериалов, вероятны изменения в формировании сортировочных групп круглых лесоматериалов перед их распиловкой и в технологии производства обрезных пиломатериалов.

#### *Объекты и методы исследования*

Объектом исследования являются технологические процессы обработки круглых лесоматериалов при формировании пиломатериалов. В ходе работы использовались методы математического анализа, аналитической геометрии, имитационного компьютерного моделирования и теории вероятности.

Далее в тексте применяется термин «продольная ось круглого лесоматериала» – это линия, соединяющая центр торца в верхнем отрезе и в комле круглого лесоматериала. Также введен термин «постав» – план раскроя од-

ного круглого лесоматериала или однородной группы круглых лесоматериалов на пиломатериалы.

Методика нахождения распределения ширины пласти двухкантного бруса при смещении круглого лесоматериала от центра постава сводится к следующему: при распиловке с брусковкой в первом проходе получается двухкантный брус. Ширина его пласти равна ширине пласти четырехкантного бруса, на которой формируется количество центральных обрезных пиломатериалов. Поэтому в дальнейшем используется термин «двухкантный брус».

Ширина пласти двухкантного бруса зависит от диаметра круглого лесоматериала и расстояния от его продольной оси до пласти бруса и определяется по формуле

$$B = \sqrt{d^2 - 4a^2},$$

где  $B$  – ширина пласти бруса, мм;  $d$  – диаметр круглого лесоматериала, мм;  $a$  – расстояние от продольной оси круглого лесоматериала до пласти бруса, мм.

Расход ширины полупостава для пиломатериалов различной толщины представлен в табл. 2.

Таблица 2

**Расход ширины полупостава (мм) при ширине пропила 5,5 мм**  
**Rate of half-sawing pattern width (mm) at the width of kerf of 5.5 mm**

Количество досок, шт.	Толщина досок, мм					
	40		50		60	
	Сосна	Береза	Сосна	Береза	Сосна	Береза
2	43,9	44,2	54,3	56,4	64,6	64,9
3	67,3	67,6	82,8	83,2	98,2	98,7
4	90,7	91,1	113,3	113,7	133,7	134,2

На размерообразование пластей бруса оказывает влияние расположение оси круглого лесоматериала относительно центра постава. На рис. 1 приведен эскиз круглого лесоматериала при выпиливании двухкантного бруса с учетом отклонения продольной оси от центра постава.

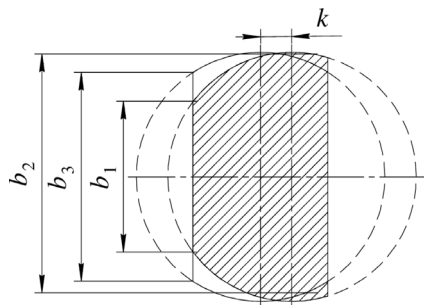


Рис. 1. Эскиз круглого лесоматериала при выпиливании двухкантного бруса с учетом отклонения продольной оси от центра постава:  $b_1$  – узкая пластъ двухкантного бруса;  $b_2$  – широкая пластъ двухкантного бруса;  $b_3$  – пластъ двухкантного бруса без отклонения;  $k$  – отклонение оси круглого лесоматериала от центра постава

Fig. 1. Sketch of the roundwood while sawing-out a two-edged cant in view of the deviation of the longitudinal axis from the centre line of the sawing pattern:  $b_1$  – narrow face of a two-edged cant;  $b_2$  – wide face of a two-edged cant;  $b_3$  – face of a two-edged cant without deviation;  $k$  – deviation of the roundwood axis from the centre line of the sawing pattern

Продольная ось круглого лесоматериала будет расположена в плюсовой зоне от оси постава, ширина левой пласти, по направлению подачи круглого лесоматериала, окажется меньше расчетной, ширина правой увеличится. В результате получится 2 распределения размеров ширины узкой и широкой пластей двухкантного бруса.

Далее рассматривается распределение узкой пласти двухкантного бруса, т. к. узкая пласти определяет количество досок из двухкантного бруса.

При статистическом контроле качества заготовок, к которым относится и двухкантный брус, используется нормированное нормальное распределение. Между отклонением продольной оси круглого лесоматериала и изменением ширины пласти двухкантного бруса существует функциональная связь. Плотность распределения размеров пласти двухкантного бруса будет такой же, как и при отклонении продольной оси круглого лесоматериала.

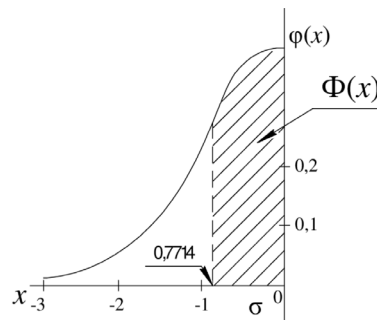
Функция распределения  $\Phi(x)$  значений ширины узкой пласти двухкантного бруса может быть рассчитана по формуле (1) и представлена графически (рис. 2):

$$\Phi(x) = \int_{-\infty}^0 \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-t^2/2} dt, \tag{1}$$

где  $t$  – переменная интегрирования.

Рис. 2. Функция  $\Phi(x)$  распределения ширины узкой пласти двухкантного бруса ( $\mu = 0; \sigma = 1$ )

Fig. 2.  $\Phi(x)$  function of the distribution of the narrow face of a two-edged cant ( $\mu = 0; \sigma = 1$ )



Результаты расчетов по формуле (1) представлены в табл. 3.

Таблица 3

**Функция распределения  $\Phi(x)$  ширины узкой пласти двухкантного бруса**  
 **$\Phi(x)$  distribution function of the width of the narrow face of a two-edged cant**

$\chi$	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7
$\Phi(x)$	0	0,07966	0,15852	0,23582	0,31084	0,38292	0,45149	0,51607
$\chi$	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5
$\Phi(x)$	0,57629	0,63188	0,68269	0,72867	0,76986	0,80640	0,83849	0,86639
$\chi$	1,6	1,7	1,8	1,9	2,0	2,1	2,2	
$\Phi(x)$	0,89040	0,91087	0,92814	0,94257	0,95450	0,96427	0,9722	
$\chi$	2,3	2,4	2,5	2,6	2,7	2,8	2,9	3,0
$\Phi(x)$	0,97855	0,98360	0,98758	0,99307	0,99489	0,99489	0,99627	0,99730

Примечание:  $\chi$  – доверительный интервал.

С использованием табл. 3 можно определить количество досок заданной толщины из бруса с учетом неточности базирования круглых лесоматериалов. Так, из круглого лесоматериала хвойных пород (за исключением



лиственницы) диаметром 19 см при толщине двухкантного бруса 125 мм и толщине досок 40 мм получается 2 обрезные доски в безусловной зоне, 0,559 – в вероятностной; из березовых круглых лесоматериалов таких же размеров – 0,440 обрезной доски.

Но, возможно, случайная величина  $X$  будет иметь нормальное распределение, например, сортировочная группа круглых лесоматериалов недостаточно однородна, тогда вместо соотношения

$$P(|X - \mu| < \chi\sigma) = \Phi(\chi) - \Phi(-\chi) = 2\Phi(\chi) - 1$$

используется оценка

$$P\left(|X - \mu| < \chi\sigma > 1 - \frac{1}{\chi^2}\right), \quad (2)$$

где  $P$  – вероятность события;  $\mu$  – математическое ожидание генеральной совокупности;  $\chi$  – доверительный интервал;  $\sigma$  – среднее квадратическое отклонение генеральной совокупности;  $\chi^2$  – случайная величина, удовлетворяющая  $\chi^2$  распределению, которая может быть получена из неравенства Чебышева [21, 23].

Параметры  $\chi$  и  $\sigma^2$  представляют соответственно математическое ожидание и дисперсию величины  $X$ . Из формулы (2) для  $\chi = 3$  следует утверждение, которое верно для любого распределения, в интервале  $(\mu - 3\sigma; \mu + 3\sigma)$  лежат минимум 89 % всех значений  $X$ , в т. ч. и для распределения, полученного для узкой пласти двухкантного бруса в интервале  $\mu - 3\sigma$ .

Из этого следует, что задача может решаться с использованием методов нормированного нормального распределения, искомая вероятность при  $3\sigma$  будет, но 0,9973, а не менее 89 %. Для установления вероятности получения дополнительной доски в поставке такая точность приемлема.

### Результаты исследования и их обсуждение

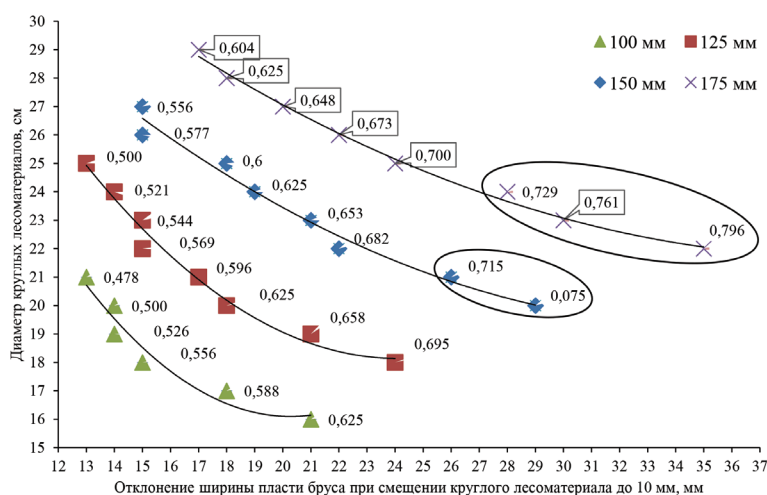


Рис. 3. Возможные варианты толщины (100–175 мм) двухкантного бруса в зависимости от диаметра круглых лесоматериалов (на рисунке обведены значения, превышающие толщину бруса максимального объема)  
Fig. 3. Possible thickness options (100–175 mm) of two-edged cants depending on the diameter of roundwood (the values, exceeding the maximum volume cant thickness are circled at the figure)

Возможная толщина двухкантного бруса в зависимости от диаметра круглых лесоматериалов представлена на рис. 3.

В табл. 4 приведена ширина узкой пласти двухкантного бруса толщиной 100, 125, 150, 175 мм при совмещении продольной оси круглого лесоматериала с центром постава и смещении продольной оси на 10 мм.

Таблица 4

**Ширина узкой пласти двухкантного бруса толщиной 100, 125, 150 и 175 мм**  
**The width of the narrow faces of the two-edged cants with the thicknesses of 100, 125, 150 and 175 mm**

Диаметр круглых лесоматериалов в верхнем отрезе, см	Толщина бруса, мм	Соотношение толщины бруса и диаметра круглого лесоматериала в верхнем отрезе	Ширина пласти бруса в верхнем отрезе, мм	
			при совмещении продольной оси круглого лесоматериала и центра постава (расчетное значение)	при смещении продольной оси круглого лесоматериала от центра постава на 10 мм (минимальное значение)
16	100	0,625	123	102 (99)
17		0,588	135	117 (113)
18		0,556	147	132 (128)
19		0,526	159	145 (141)
20		0,500	172	158 (153)
21		0,478	183	170 (165)
18	125	0,695	126	102 (99)
19		0,658	140	119 (115)
20		0,625	153	135 (131)
21		0,596	166	149 (144)
22		0,569	178	163 (158)
23		0,544	191	176 (171)
24		0,521	203	189 (183)
25		0,500	214	201 (195)
20	150	0,750	127	98 (95)
21		0,715	143	117 (113)
22		0,682	157	135 (131)
23		0,653	171	150 (145)
24		0,625	184	165 (160)
25		0,600	197	179 (173)
26		0,577	210	195 (189)
27		0,556	221	206 (200)
22	175	0,796	127	92 (89)
23		0,761	144	114 (110)
24		0,729	159	133 (129)
25		0,700	174	150 (145)
26		0,673	188	166 (161)
27		0,648	201	181 (175)
28		0,625	214	196 (190)
29		0,604	227	210 (203)

Примечание: Без скобок (здесь и в табл. 5) указаны значения по хвойным пиломатериалам; в скобках – по березовым.



В практике лесопиления при расчете количества досок из двухкантного бруса к ширине его пласти резервируется 20...25 мм, чтобы уменьшить влияние обзола. Смещение круглого лесоматериала при получении двухкантного бруса принимается до 10 мм, что приводит к изменению ширины пласти двухкантного бруса на 20...25 мм.

Из материалов табл. 4 следует:

при формировании бруса толщиной 100 мм из группы круглых лесоматериалов с диаметрами 16...21 см отношение толщины бруса к диаметру круглых лесоматериалов изменяется в диапазоне 0,625...0,476;

при формировании бруса толщиной 125 мм из группы круглых лесоматериалов с диаметрами 18...25 см отношение толщины бруса к диаметру круглых лесоматериалов изменяется в диапазоне  $(0,695...0,500)d$ ;

при формировании бруса толщиной 150 мм из группы круглых лесоматериалов с диаметрами 20...27 см отношение толщины бруса к диаметру круглых лесоматериалов изменяется в диапазоне  $(0,750...0,556)d$ ;

при формировании бруса толщиной 175 мм из группы круглых лесоматериалов с диаметрами 22...29 см отношение толщины бруса к диаметру круглых лесоматериалов изменяется в диапазоне  $(0,796...0,604)d$ .

В табл. 5 представлено расчетное количество досок толщиной 40, 50 и 60 мм из двухкантных брусьев толщиной 100, 125, 150 и 175 мм с учетом смещения оси круглого лесоматериала от центра постава до 10 мм.

Таблица 5

**Количество досок из двухкантного бруса  
при смещении оси круглого лесоматериала от центра постава до 10 мм  
The number of boards produced from the two-edged cant with the deviation  
of the roundwood axis from the centre line of the sawing pattern up to 10 mm**

Диаметр круглых лесоматериалов в верхнем отрезе, см	Толщина бруса, мм	Количество досок (шт.) при толщине доски, мм		
		40	50	60
17	100	2	2	–
18		2,987 (2,935)	2	2
19		3	2	2
20		3	2,836 (2,626)	2
21		3	3	2
18	125	2	1,739 (1,668)	–
19		2,559 (2,440)	2	2
20		3	2	2
21		3	2	2
22		3	2,904 (2,752)	2
23		3,850 (3,651)	3	2
24		4	3	2,842 (2,610)
25		4	3	3

Окончание табл. 5

Диаметр круглых лесоматериалов в верхнем отрезе, см	Толщина бруса, мм	Количество досок (шт.) при толщине доски, мм		
		40	50	60
20	150	2	–	–
21		2,667 (2,570)	2	–
22		3	2	2
23		3	3	2
24		3	2,996 (2,971)	2
25		3,989 (3,933)	3	2
26		4	3	2,993 (2,930)
27		4	3	3
22	175	2	1,592 (1,547)	–
23		2,652 (2,569)	2	1,544 (1,484)
24		2,995 (2,982)	2	2
25		3	2,711 (2,627)	2
26		3,337 (3,209)	3	2
27		4 (3,979)	3	2,509 (2,335)
28		4	3	2,996 (2,962)
29		4	3	3

Ширина пласти двухкантного бруса может обеспечить получение целого  $n$  или нецелого  $n+1$  числа досок.

Данные табл. 5 показывают, что в пласти двухкантного бруса можно выделить 2 зоны получения обрезных досок (рис. 4): безусловную ( $b_{\min}$ ) и вероятностную ( $b_{\text{вер}}$ ).

Целое число центральных обрезных пиломатериалов в пределах пласти бруса получается в безусловной зоне. Количество обрезных пиломатериалов в вероятностной зоне  $n+1$  определяют по табл. 3. Ниже приводится пример расчета.

Исходные данные:  $d = 19$  см; толщина досок – 40 мм; расход ширины поставка для 2 центральных досок  $a_n = 87,8$  мм (табл. 2); для 3 –  $a_n = 134,6$  мм (табл. 2); расчетная ширина узкой пласти при смещении оси круглого лесоматериала  $b_{\min} = 119$  мм (табл. 4).

При  $b_{\min} = 119$  мм получается 2 доски толщиной 40 мм (с использованием формулы (1)). Ширина вероятностной зоны:

$$b_{\text{вер}} = b - b_{\min};$$

$$b_{\text{вер}} = 140 - 119 = 21 \text{ мм};$$

$$\sigma = \frac{b_{\text{вер}}}{3} = 7.$$

Ширина вероятностной зоны, определяющая получение  $n+1$  досок:

$$\Delta = b - a_{n+1}; \quad (3)$$

$$\Delta = 140 - 134,6 = 5,4 \text{ мм}.$$

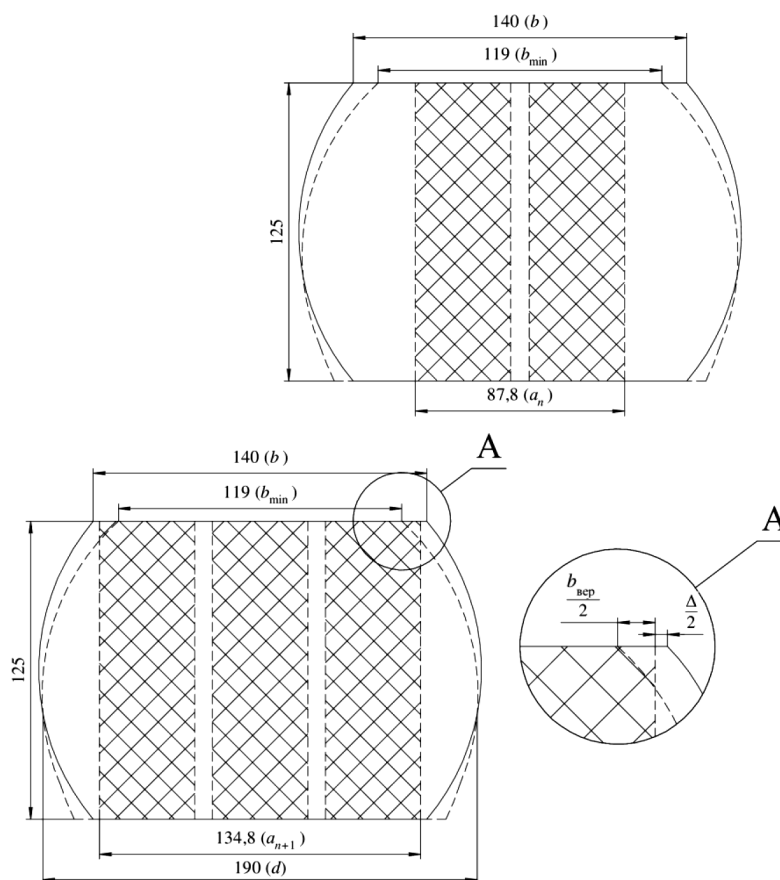


Рис. 4. Безусловная и вероятностная зоны в двухкантном бруске ( $d$  – диаметр круглого лесоматериала;  $b$ ,  $b_{\min}$  – расчетная и минимальная ширина пласти двухкантного бруска в верхнем отрезе соответственно;  $a_n$ ,  $a_{n+1}$  – расход ширины постова для получения  $n$  и  $n+1$  досок соответственно;  $\Delta$  – ширина вероятностной зоны)

Fig. 4. The unconditional and probabilistic zones in a two-edged cant ( $d$  – diameter of roundwood;  $b$ ,  $b_{\min}$  – calculated and minimum widths of the face of a two-edged cant at the top end, correspondingly;  $a_n$ ,  $a_{n+1}$  – rate of sawing pattern width for obtaining  $n$  and  $n+1$  boards, correspondingly;  $\Delta$  – width of the probabilistic zone)

Из формулы (3) устанавливается доверительный интервал  $\sigma$ :

$$\chi = \frac{\Delta}{\sigma};$$

$$\chi = \frac{5,4}{7} = 0,7714.$$

По табл. 3 количество  $n+1$  досок из двухкантного бруска  $\Phi(x) = 0,559$ .  
В табл. 6 представлен объемный выход обрезных досок в безусловной зоне.

Таблица 6

**Объемный выход толстых обрезных досок в безусловной зоне с учетом изменения параметров круглых лесоматериалов и условий их распиловки**

**Volumetric yield of thick edged boards in the unconditional zone in view of the changes in the parameters of roundwood and sawing conditions**

Диаметр круглых лесоматериалов в верхнем отрезе, см	Толщина бруса, мм	Объемный выход (%) досок относительно объема бревна при толщине доски, мм		
		40	50	60
17	100	30,97	38,71	–
18		27,91	34,88	41,86
19		37,31	31,09	37,31
20		33,64	28,04	33,64
21		30,38	37,97	30,38
18	125	34,88	21,80	–
19		31,09	38,86	46,63
20		42,06	35,05	42,06
21		37,97	31,65	37,97
22		34,62	28,85	34,62
23		31,47	39,34	31,47
24		38,22	35,83	28,66
25		35,09	32,89	39,47
20	150	33,64	–	–
21		30,38	37,97	–
22		41,54	34,62	41,54
23		37,76	31,47	37,76
24		34,39	28,66	34,39
25		31,58	39,47	31,58
26		38,92	36,49	29,19
27		35,64	33,42	40,10
22	175	32,31	20,19	–
23		29,37	36,71	22,03
24		26,75	33,44	40,13
25		36,84	30,70	36,84
26		34,05	42,57	34,05
27		41,58	38,99	31,19
28		38,18	35,80	28,64
29		35,74	33,51	40,21

В диапазоне диаметров круглых лесоматериалов 17...29 см только из лесоматериалов с диаметрами 21 и 25 см получились брусья максимального объема, но объемный выход центральных обрезных пиломатериалов для этих диаметров не является максимальным.

## Выводы

1. Брус максимального объема не гарантирует получение максимального суммарного объема досок.
2. Двухкантные брусья толщиной 100 и 125 мм не являются брусьями максимального объема, т. к. ширина пласти бруса меньше, чем требуется для получения 2 обрезных досок.
3. Двухкантные брусья толщиной 150 мм и более могут быть брусьями максимального объема.
4. В пласти двухкантного бруса можно выделить 2 зоны получения обрезных центральных пиломатериалов: безусловную и вероятностную.
5. Получение из двухкантных брусьев обрезных досок, представленных нецелым числом, возможно реализовать с использованием сменных или смежных поставов.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Агеев С.П., Мелехов В.И., Рыкунин С.Н. Вероятностное моделирование процесса производства пилопродукции // Вестн. МГУЛ – Лесн. вестн. 2015. Т. 19, № 2. С. 89–95.  
Ageev S.P., Melekhov V.I., Rykunin S.N. Probabilistic Modeling of the Sawed Timber Production Process. *Lesnoy Vestnik = Forestry Bulletin*, 2015, vol. 19, no. 2, pp. 89–95 p. (In Russ.).
2. Аксенов П.П. Теоретические основы раскроя пиловочного сырья. М.; Л.: Гослесбумиздат, 1960. 216 с.  
Aksenov P.P. *Theoretical Basis for Cutting Sawlogs*. Moscow, Leningrad, Goslesbumizdat Publ., 1960. 216 p. (In Russ.).
3. Залгаллер В.А. Новое в составлении поставов для распиловки бревен // Тр. Ин-та ЦНИИЛ. Л.: Севзаплес, 1956. Вып. 67. С. 32–67.  
Zalgaller V.A. Innovations in Compilation of Sawing Patterns. *Proceedings of the Central Research Institute of Forestry*. Leningrad, Sevzaples Publ., 1956, iss. 67, pp. 32–67. (In Russ.).
4. Калитеевский Р.Е. Лесопиление в XXI веке. Технология, оборудование, менеджмент. СПб.: Профи-информ, 2005. 480 с.  
Kaliteevskiy R.E. *Sawmill in the 21st Century. Technology, Equipment, Management*. St. Petersburg, PROFI-INFORM Publ., 2005. 480 p. (In Russ.).
5. Кантарович Л.В. Подбор поставов, обеспечивающих максимальный выход пилопродукции в заданном ассортименте // Лесн. пром-сть. 1949. № 7. С. 15–17; № 8. С. 17–19.  
Kantorovich L.V. *Selection of Sawing Patterns Ensuring Maximum Sawed Timber Yield at a Given Range*. *Lesnaya promyshlennost' Publ.*, 1949, no. 7, pp. 15–17; no. 8, pp. 17–19. (In Russ.).
6. Каптелкин А.А., Куликова Н.В., Новоселов Н.А., Рыкунин С.Н. Переработка тонкомерных березовых круглых лесоматериалов в условиях ограниченного спроса на технологическую щепу // Предиктивный характер научных исследований и практика их реализации в условиях глобального кризиса в экономике и обществе: сб. науч. ст. по итогам междунар. науч.-практ. конф. СПбГЭУ, 2020. С. 7–11.  
Kartelkin A.A., Kulikova N.V., Novoselov N.A., Rykunin S.N. Processing Small Birch Roundwood in the Conditions of Limited Demand for Technological Chips. *Predictive Nature of Scientific Research and the Practice of Its Implementation in the Conditions of Global Crisis in the Economy and Society: Collection of Scientific Articles Based on the Results*

of the International Scientific and Practical Conference. St. Petersburg State University of Economics Publ., 2020, pp. 7–11. (In Russ.).

7. Куликова Н.В., Каптелкин А.А., Рыкунин С.Н. О технологии производства пиломатериалов из мелких круглых лесоматериалов // Актуальные проблемы и перспективы развития лесопромышленного комплекса: материалы IV Междунар. науч.-практ. конф. Кострома, 2021. С. 142–144.

Kulikova N.V., Kaptelkin A.A., Rykunin S.N. About the Technology of Production of Sawn Timber from Small Round Timber. *Current Issues and Prospects for the Development of the Forest Industry Complex: Materials of the 4th International Scientific and Practical Conference*. Kostroma, 2021, pp. 142–144 p. (In Russ.).

8. Огурцов В.В. Теория брусо-развальной распиловки бревен: моногр. Красноярск: СибГТУ, 2011. 230 с.

Ogurtsov V.V. *Cant Sawing Theory of Logs: Monograph*. Krasnoyarsk, SibSTU Publ., 2011. 230 p. (In Russ.).

9. Песоцкий А.Н., Ясинский В.С. Рациональное использование древесины в лесопилении. М.: Лесн. пром-сть, 1977. 128 с.

Pesotskiy A.N., Yasinskiy V.S. *Rational Use of Wood in Sawmilling*. Moscow, Lesnaya promyshlennost' Publ., 1977. 128 p. (In Russ.).

10. Рыкунин С.Н., Куликова Н.В., Каптелкин А.А. Влияние движения капитала на востребованность живого труда в сфере материального производства // Постнеклассическая наука: междисциплинарность, проблемно-ориентированность и прикладной характер: сб. науч. ст. по итогам междунар. науч.-практ. конф., Санкт-Петербург, 29–30 июня 2021 г. СПб.: СПбГЭУ, 2021. С. 12–14.

Rykunin S.N., Kulikova N.V., Kaptelkin A.A. The Influence of Capital Movement on the Demand for Direct Labor in the Material Production Sphere. *Post-non-Classical Science: Interdisciplinarity, Problem Orientation, and Applied Nature: Collection of Scientific Articles Based on the Results of the International Scientific and Practical Conference*. St. Petersburg, June 29–30, 2021. St. Petersburg, St. Petersburg State University of Economics Publ., 2021, pp. 12–14. (In Russ.).

11. Рыкунин С.Н., Куликова Н.В., Каптелкин А.А. Изменения востребованности живого труда при реализации стратегий развития отраслей в Российской Федерации // Современные научные гипотезы и прогнозы: от теории к практике: сб. науч. ст. по итогам междунар. науч.-практ. конф., Санкт-Петербург, 30–31 авг. 2021 г. СПб.: СПбГЭУ, 2021. С. 7–9.

Rykunin S.N., Kulikova N.V., Kaptelkin A.A. Changes in the Demand for Direct Labor in the Implementation of Development Strategies for Industries in the Russian Federation. *Current scientific Hypotheses and Predictions: from Theory to Practice: Collection of Scientific Articles Based on the Results of the International Scientific and Practical Conference*. St. Petersburg, August 30–31, 2021. St. Petersburg, St. Petersburg State University of Economics Publ., 2021, pp. 7–9. (In Russ.).

12. Рыкунин С.Н., Куликова Н.В., Каптелкин А.А. Инновации в инвестициях в условиях международного разделения труда на предприятиях по производству строительных материалов из древесины // Инновационно-инвестиционный фундамент развития экономики общества и государства: от научных разработок к практике: сб. науч. ст. по итогам междунар. науч.-практ. конф., Санкт-Петербург, 27–28 дек. 2021 г. СПб.: СПбГЭУ, 2021. С. 11–13.

Rykunin S.N., Kulikova N.V., Kaptelkin A.A. Innovations in Investments in the Conditions of International Labor Division in the Enterprises Producing Construction Materials from Wood. *Innovation and Investment Foundation for the Development of the Economy of the Society and State: from Scientific Development to Practice: Collection of Scientific Articles Based on the Results of the International Scientific and Practical Conference*. St. Petersburg, December 27–28, 2021. St. Petersburg, St. Petersburg State University of Economics Publ., 2021, pp. 11–13. (In Russ.).

13. *Титков Г.Г.* Краткое руководство по составлению и расчету поставов. М.; Л.: Гослесбуиздат, 1955. 50 с.
- Titkov G.G. *Summary Guide on Compiling and Calculation of Sawing Patterns*. Moscow, Leningrad, Goslesbumizdat Publ., 1955. 50 p. (In Russ.).
14. *Торопов А.С., Шаранов Е.С.* Исследование плотности древесины березы, пораженной сердцевинной гнилью // Изв. вузов. Лесн. журн. 2006. № 6. С. 72–79.
- Toropov A.S., Sharapov E.S. Study of Birch Wood Density Affected by Firm Red Heart. *Lesnoy Zhurnal = Russian Forestry Journal*, 2006, no. 6, pp. 72–79. (In Russ.).
15. *Торопов А.С., Шаранов Е.С.* Исследование технологии получения однородных заготовок из березы, пораженной сердцевинной гнилью // Актуальные проблемы лесного комплекса: сб. науч. тр. по итогам междунар. науч.-техн. конф. / под ред. Е.А. Панфилова. Брянск: Брянск. гос. инж.-техн. акад., 2006. Вып. 14. С. 164–167.
- Toropov A.S., Sharapov E.S. Study of the Technology of Obtaining Homogeneous Blanks from Birch Wood Affected by Firm Red Heart. *Current Problems of the Timber Complex: Collection of Scientific Works Based on the Results of the International Scientific and Technical Conference*. Bryansk, Bryansk State Engineering and Technological Academy, 2006, iss. 14, pp. 164–167. (In Russ.).
16. *Торопов А.С., Шаранов Е.С.* Новые технологии раскроя древесины, пораженной сердцевинной гнилью // Вестн. МГУЛ – Лесн. вестн. 2008. № 6(63). С. 59–62.
- Toropov A.S., Sharapov E.S. New Technologies for Cutting of Wood Affected by Firm Red Heart. *Lesnoy Vestnik = Forestry Bulletin*, 2008, no. 6(63), pp. 59–62. (In Russ.).
17. *Турушев В.Г.* Обрезка пиломатериалов. М.: Лесн. пром-сть, 1970. 56 с.
- Turushev V.G. *Sawn Timber Edging*. Moscow, Lesnaya Promyshlennost' Publ., 1970. 56 p. (In Russ.).
18. *Фельдман Х.Л.* Система максимальных поставов на распиловку. М.: Гослестехиздат, 1932. 276 с.
- Fel'dman Kh.L. *System of Maximum Sawing Pattern for Cutting*. Moscow, Goslестekhizdat Publ., 1932. 276 p. (In Russ.).
19. *Фергин В.Р.* Развитие теории раскроя пиловочного сырья // Изв. вузов. Лесн. журн. 2018. № 4. С. 107–117.
- Fergin V.R. Development of the Sawing Process Theory. *Lesnoy Zhurnal = Russian Forestry Journal*, 2018, no. 4, pp. 107–117. (In Russ.).
20. *Чубинский А.Н., Тамби А.А., Швец В.Л.* Анализ влияния качественных характеристик круглых лесоматериалов на выбор бревнопильного оборудования // Изв. СПбЛТА. 2014. Вып. 208. С. 63–72.
- Chubinskiy A.N., Tambi A.A., Shvets V.L. Analysis of Sawlogs Shape Influence on Sawmill Equipment Choice. *Izvestia Sankt-Peterburgskoj lesotekhnicheskoy akademii = News of the Saint Petersburg State Forest Technical Academy*, 2014, iss. 208, pp. 63–72. (In Russ.).
21. *Шторм Р.* Теория вероятности. Математическая статистика. Статистический контроль качества. М.: Мир, 1970. 368 с.
- Shtorm R. *Probability Theory. Mathematical Statistics. Statistical Quality Control*. Moscow, Mir Publ., 1970. 368 p. (In Russ.).
22. Brege S., Nord T., Sjoström R., Stehn L. Value-Added Strategies and Forward Integration in the Swedish Sawmill Industry: Positioning and Profitability in the High-Volume Segment. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 2010, no. 25(5), pp. 482–493.
23. Cramer H. *Mathematical Methods of Statistics*. Princeton, 1946. 575 p.
24. Johansson J. *Förutsättningar för Konkurrenskraftigt Utnyttjande av Svenskt Lövtimmer i Svenska Lövsågverk* [Requirements for Competitive Use of Swedish Hardwood in Swedish Hardwood Sawmills]. Växjö University, School of Industrial Engineering, 2003, report no. 5. 48 p.
25. Johansson J. *Mechanical Processing for Improved Products Made from Swedish Hardwood*. Växjö University, School of Technology and Design, 2008, no. 157. 140 p.



26. Johansson J. *Product Differentiation in the Swedish Hardwood Sawmill Industry*. Växjö University, School of Technology and Design, 2005, report no. 25. 41 p.

27. Makkonen M. *Renewing the Sawmill Industry: Studies on Innovation, Customer Value and Digitalization*. Dissertations Forestales, 2019. 65 p. <https://doi.org/10.14214/df.269>

28. Makkonen M. Stakeholder Perspectives on the Business Potential of Digitalization in the Wood Products Industry. *BioProducts Business*, 2018, vol. 3, no. 6, pp. 63–80. <https://doi.org/10.22382/bpb-2018-006>

29. Makkonen M., Sundqvist-Andberg H. Customer Value Creation in B2B Relationships: Sawn Timber Value Chain Perspective. *Journal of Forest Economics*, 2017, vol. 29, part B, pp. 94–106. <https://doi.org/10.1016/j.jfe.2017.08.007>

30. The Ministry of Industry, Employment and Communications. *Mer Trä i Bygandet: Underlag för en Nationell Strategi att Främja Användning av Trä i Bygandet*. Stockholm, 2004, DS 2004:1.

**Конфликт интересов:** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов

**Conflict of interest:** The authors declare that there is no conflict of interest

---

**Вклад авторов:** Все авторы в равной доле участвовали в написании статьи

**Authors' Contribution:** All authors contributed equally to the writing of the article