

Библиографический список

1. Лехницкий С.Г. Теория упругости анизотропного тела / С.Г. Лехницкий. – М.: Наука, 1977. – 415 с.
2. Пардаев А.С. Повышение формоустойчивости клееных щитов из древесины на основе моделирования процессов усушки и разбухания / А.С. Пардаев, В.Б. Снопков // Архитектура и строительство. – 2009. – № 3. – С. 30–32.
3. Пардаев А.С. Определение влияния пороков древесины на напряженно-деформированное состояние элементов столярно-строительных конструкций на основе имитационного моделирования / А.С. Пардаев // Труды БГТУ. Сер. II, Лесная и деревообработ. пром-сть. – 2010. – Вып. XVIII. – С. 193–195.
4. Рапинчук Д.Л. Оценка прочности и жесткости клееных брусьев для деревянного домостроения методом испытаний и моделирования нагружения / Д.Л. Рапинчук, А.С. Пардаев, О.К. Леонович // Труды БГТУ. Сер. II, Лесная и деревообработ. пром-сть. – 2010. – Вып. XVIII. – С. 184–187.

***В.В. Раповец, Н.В. Бурносов**
БГТУ, Минск, Республика Беларусь*

**ЗАВИСИМОСТЬ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ РАЗМЕРОВ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ЩЕПЫ ОТ ПАРАМЕТРОВ
ДВУХЛЕЗВИЙНЫХ НОЖЕЙ ПРИ ОБРАБОТКЕ ДРЕВЕСИНЫ
НА ФРЕЗЕРНО-БРУСУЮЩИХ СТАНКАХ
(DEPENDENCE OF THE GEOMETRICAL SIZES TECHNOLOGICAL
CHIPS FROM PARAMETRES MULTIBLADE KNIFES AT WOOD PROC-
ESSING ON CHIPPER CANTER MACHINE TOOLS)**

В статье проведен анализ графических зависимостей длины скошенной части технологической щепы, угла среза торца технологической щепы от величины смещения оси бревна по отношению к оси вращения фрезы.

The analysis of graphic dependences length beveled portion chipping, cutting angle end chipping on the displacement axis of the log to the axis rotation the cutter.

Комплексное использование сырья в лесопильной промышленности охватывает ряд вопросов, куда входят оптимизация раскроя сырья, снижение энергоемкости процесса обработки, улучшение условий базирования пиломатериала [1], определение и внедрение в практику средств и методов использования отходов лесопиления, создание технологических процессов, исключающих или снижающих количество отходов при повышении (обеспечении) качества получаемой пилопродукции [2].

Существенный вклад в решение данной проблемы вносит комплексная обработка древесины фрезерованием [3], получившая широкое распространение не только в Республике Беларусь, но и в странах ближнего и дальнего зарубежья. Реализуется она посредством применения дорогостоящего энергоемкого агрегатного оборудования в основном зарубежного производства: фрезерно-брусующих станков (ФБС) и линий на их основе.

На фрезерно-брусующих станках наиболее эффективна агрегатная обработка древесины диаметром 8–18 см с получением бруса и технологической щепы. Но опыт эксплуатации современных ФБС в Республике Беларусь и за рубежом показывает, что на

данных станках в зависимости от технологии производства продукции обрабатываются бревна с вершинным диаметром свыше 18 см. Использование ФБС играет немаловажную роль для Республики Беларусь.

Изучение особенностей формообразования пилопродукции и технологической щепы позволило определить факторы, оказывающие влияние на качество получаемой продукции. В наибольшей степени они определяются геометрией режущего инструмента фрезерно-брусующих станков.

Фрезерно-брусующие станки оснащаются специальным режущим инструментом – фрезами со спиральным расположением цельных двухлезвийных ножей.

Геометрические параметры двухлезвийных ножей со спиральным расположением в корпусе фрезы влияют на процесс получения бруса и технологической щепы на фрезерно-брусующих станках, определяя качество получаемой продукции, энергетические затраты на процесс переработки древесины, а также эксплуатационные расходы на режущий инструмент.

Геометрические параметры двухлезвийных ножей со спиральным расположением в корпусе фрезы влияют на процесс получения бруса и технологической щепы на фрезерно-брусующих станках, определяя качество получаемой продукции, энергетические затраты на процесс переработки древесины, а также эксплуатационные расходы на режущий инструмент.

Рассмотрим условия работы каждого двухлезвийного ножа со спиральным их расположением на фрезе. На схеме, представленной на рисунке 1, каждый двухлезвийный нож фрезы снимает определенный слой древесины.

На рисунке 1 изображено перерабатываемое бревно диаметром D в трех проекциях, которое движется со скоростью подачи V_s (м/мин) между правой фрезой I (по ходу движения бревна) и левой фрезой II, вращающимися с частотой n (мин⁻¹) вокруг горизонтальной оси O . Ось бревна может быть смещена на величину a выше ($a > 0$), либо ниже ($a < 0$) оси вращения фрез или они могут совпадать ($a = 0$) (в зависимости от диаметра перерабатываемого бревна). На рисунке 1 показан случай, когда ось бревна расположена выше оси вращения фрез. Ножи одной спирали пронумерованы индексом i ($i = 1, 2, \dots, N$) так, что нож с номером 1 каждой фрезы формирует брус заданной высоты h . Первые три двухлезвийные ножи ($i = 1, 2, 3$) радиусами R_1, R_2, R_3 каждой спирали срезают с каждой стороны бревна последовательно по три слоя так, что образуется брус высотой h и шириной пласти b . Ножи на правой и левой фрезях имеют прямое короткое лезвие длиной l_k , расположенное по отношению к длинному под углом φ . Угол среза торца щепы $\varphi_{щ}$ в общем случае не равен углу наклона короткого лезвия ножа φ . Длинное лезвие ножа l_d , осуществляя разрез длиной l_d , формирует элементы технологической щепы по толщине $S_{щ}$, а короткое l_k – по длине щепы $l_{щ}$.

На горизонтальной проекции бревна показана форма поперечных сечений щепы на уровне AO , на фронтальной – на уровне входа ножа в древесину на высоте $(a + b_i/2)$ от оси фрез, а на профильной – показана форма режущих кромок ножей. При срезании слоев древесины они разрушаются на отдельные элементы неопределенной ширины, но с постоянной площадью поперечного сечения.

При заданных значениях скорости подачи V_s (м/мин), частоты вращения фрез n (мин⁻¹) и количестве ножей z , участвующих в срезании одного слоя древесины, длина щепы $l_{щ}$ (мм) по направлению волокон древесины определяется по выражению:

$$l_{щ} = \frac{1000V_s}{zn} . \quad (1)$$

Длина l_d (мм) длинного лезвия ножа определяется из условия гарантированного срезания элемента технологической щепы длиной 25 мм, т.е. длина длинного лезвия

ножа должна быть больше длины $l_{щ}$ (мм) технологической щепы на величину запаса около 2 мм, т. е.:

$$l_d = l_{щ} + 2 . \quad (2)$$

Такое конструктивное увеличение длины лезвий ножа на 2 мм необходимо для компенсации возможной неточности расположения двухлезвийных ножей по радиусам R_1, R_2, \dots, R_i при установке их в корпуса фрез.

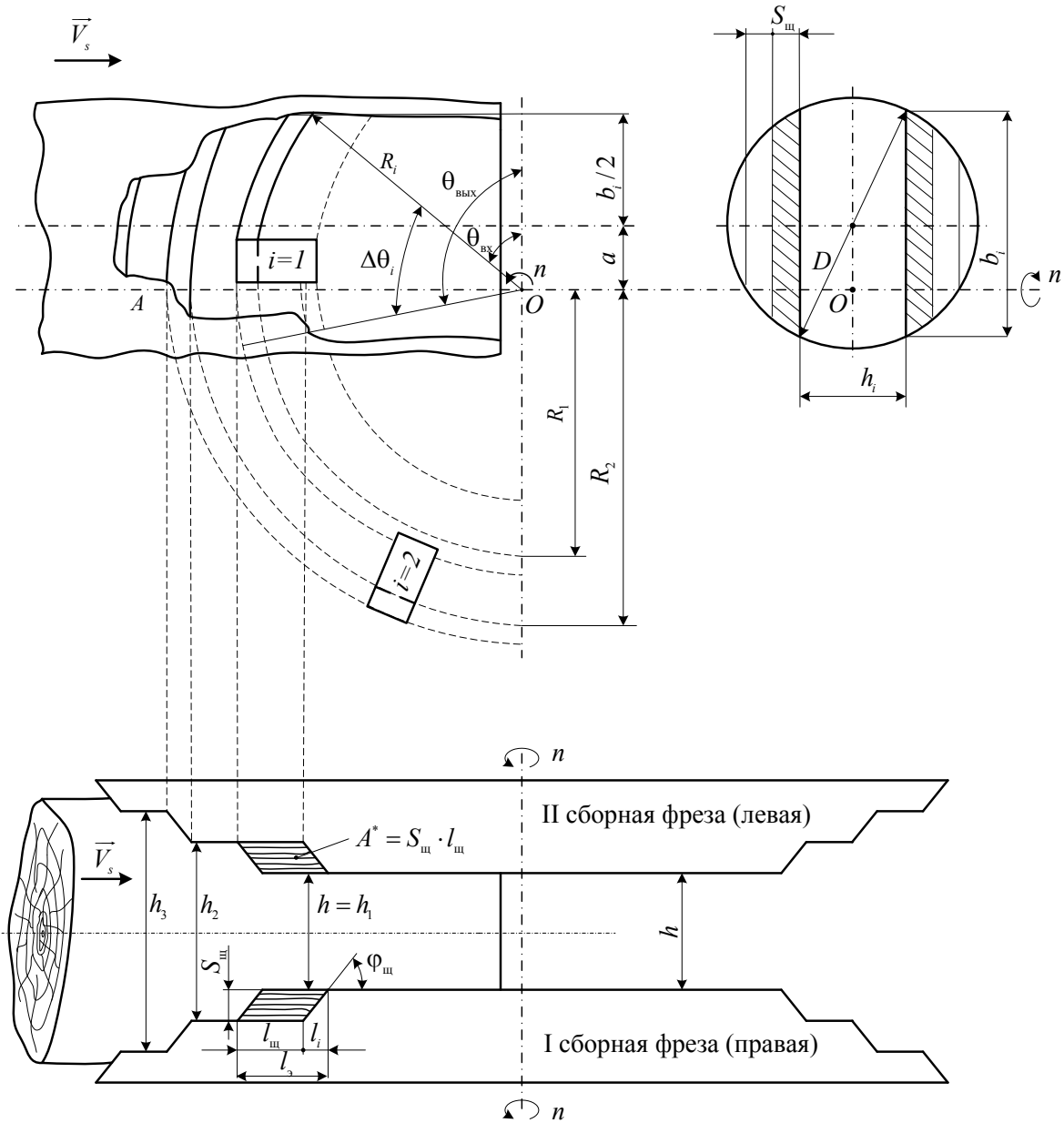


Рис. 1. Формообразования пилопродукции и технологической щепы фрезами со спиральным расположением двухлезвийных ножей

Длина элемента l_3 (мм) технологической щепы (рис. 1) представляет собой сумму длины щепы $l_{щ}$ и проекции ее скошенной части l_i и определяется по следующей формуле:

$$l_{3,i} = l_{щ} + l_i = l_{щ} + \sqrt{R_i^2 - (a + \frac{b_i}{2})^2} - \sqrt{(R_i - \frac{S_{щ}}{2})^2 - (a + \frac{b_i}{2})^2}, \quad i = 1, 2, \dots, \quad (3)$$

где l_i – проекция скошенной части элемента щепы, мм, φ – угол наклона короткого лезвия ножа по отношению к длинному лезвию, град.

Из выражения (3) видно, что длина элемента l_3 технологической щепы изменяется только за счет проекции l_i скошенной ее части, поскольку длина $l_{щ}$ технологической щепы – величина постоянная (т. е. 25 мм). Таким образом, исследуем полученную проекцию l_i скошенной части щепы выражения (3) на экстремум. Запишем проекцию l_i скошенной части технологической щепы отдельно:

$$l_i = \sqrt{R_i^2 - \left(a + \frac{b_i}{2}\right)^2} - \sqrt{\left(R_i - \frac{S_{\text{м}}}{\text{tg}\varphi}\right)^2 - \left(a + \frac{b_i}{2}\right)^2}. \quad (4)$$

Будем рассматривать параметр a в качестве независимой переменной и исследуем функцию (4) на экстремум для каждого из ножей спирали ($b_i = \text{const}$).

Определяем частную производную от l_i по параметру a :

$$\frac{\partial l_i}{\partial a} = \frac{2a + b_i}{2\sqrt{\left(R_i - \frac{S_{\text{м}}}{\text{tg}\varphi}\right)^2 - \left(a + \frac{b_i}{2}\right)^2}} - \frac{2a + b_i}{2\sqrt{R_i^2 - \left(a + \frac{b_i}{2}\right)^2}}.$$

Преобразуем полученное выражение и представим в виде:

$$\frac{\partial l_i}{\partial a} = (2a + b_i) \left(\frac{1}{2\sqrt{\left(R_i - \frac{S_{\text{м}}}{\text{tg}\varphi}\right)^2 - \left(a + \frac{b_i}{2}\right)^2}} - \frac{1}{2\sqrt{R_i^2 - \left(a + \frac{b_i}{2}\right)^2}} \right). \quad (5)$$

Из условия экстремума $\frac{\partial l_i}{\partial a} = 0$ получим:

$$(2a + b_i) \left(\frac{1}{2\sqrt{\left(R_i - \frac{S_{\text{м}}}{\text{tg}\varphi}\right)^2 - \left(a + \frac{b_i}{2}\right)^2}} - \frac{1}{2\sqrt{R_i^2 - \left(a + \frac{b_i}{2}\right)^2}} \right) = 0.$$

Это уравнение выполняется при $(2a + b_i) = 0$, тогда $a = -\frac{b_i}{2}$.

Числовое значение $a < 0$, это означает, что ось бревна расположена ниже оси вращения фрез и при этом функция (4) принимает экстремальное значение.

Определяем частную производную второго порядка функции (4):

$$\begin{aligned} \frac{\partial^2 l_i}{\partial a^2} = & \frac{(2a + b_i)^2}{4 \left(\left(R_i - \frac{S_{\text{м}}}{\text{tg}\varphi} \right)^2 - \left(a + \frac{b_i}{2} \right)^2 \right)^{\frac{3}{2}}} - \frac{(2a + b_i)^2}{4 \left(R_i^2 - \left(a + \frac{b_i}{2} \right)^2 \right)^{\frac{3}{2}}} + \\ & + \frac{1}{\sqrt{\left(R_i - \frac{S_{\text{м}}}{\text{tg}\varphi} \right)^2 - \left(a + \frac{b_i}{2} \right)^2}} - \frac{1}{\sqrt{R_i^2 - \left(a + \frac{b_i}{2} \right)^2}}. \end{aligned} \quad (6)$$

Поскольку $R_i > \left(R_i - \frac{S_{\text{м}}}{\text{tg}\varphi} \right)$ при $0 < \varphi < \frac{\pi}{2}$, то подставив значение переменной $a = -\frac{b_i}{2}$

в выражение (6), получим: $\frac{\partial^2 l_i}{\partial a^2} = \frac{1}{R_i - \frac{S_{\text{м}}}{\text{tg}\varphi}} - \frac{1}{R_i} > 0$.

Следовательно, функция (4) принимает минимальное значение при $a = -\frac{b_i}{2}$.

Аналогичные результаты получаются и при исследовании l_i на экстремум по отношению к переменной b_i $\left(\frac{\partial l_i}{\partial b_i} = 0\right)$.

Определим предельные значения величин a и b_i . Диапазоны изменения величин a и b_i , входящих в зависимость (4), находим исходя из технических характеристик фрезерно-брусующих станков PSP 500 (SAB, Германия) (рис. 2).

В процессе работы фрезерно-брусующего станка ось вращения O_ϕ фрезы 1 не изменяет своего положения в вертикальной плоскости и находится на расстоянии 200 мм от поверхности опоры 2, по которой базируются для обработки бревна 3 и 4 в диапазоне диаметров от $d_{б, \min} = 80$ мм до $d_{б, \max} = 500$ мм.

На рисунке 2 не показана правая фреза 1, симметрично расположенная относительно опоры 2. Оси бревен ($O_{б, \min}$, $O_{б, \max}$) могут смещаться на величину a выше оси вращения O_ϕ фрез 1 ($a > 0$), ниже ($a < 0$) или совпадать ($a = 0$) с осью вращения фрез в зависимости от диаметра перерабатываемого бревна.

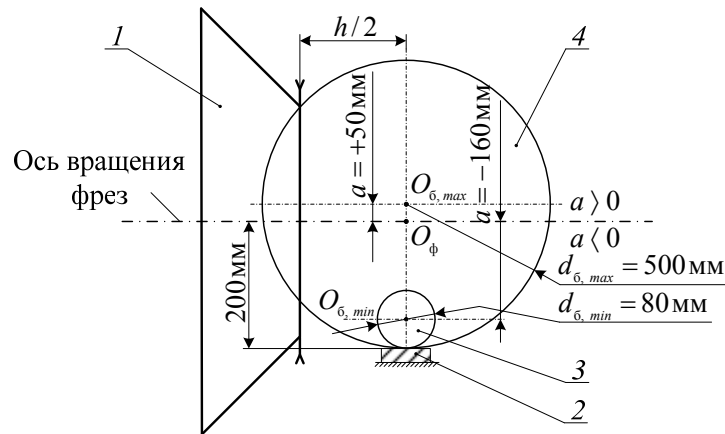


Рис. 2. Схема обработки бревен на фрезерно-брусующем станке:
1 – левая фреза с двухлезвийными ножами, 2 – опора,
3 – бревно минимального диаметра, 4 – бревно максимального диаметра

Расстояние от оси вращения O_ϕ фрезы 1 до оси бревна 3 минимального диаметра составляет $a = -160$ мм, расстояние от оси вращения O_ϕ фрезы 1 до оси бревна 4 максимального диаметра составляет $a = +50$ мм. Радиус резания R_1 первым двухлезвийным ножом фрезы 1, близлежащим к поверхности пласти бруса, составляет 225 мм. Двухлезвийные ножи на фрезе срезают слои древесины толщиной $S_{щ} = 5$ мм, угол наклона лезвий ножа $\varphi = 45^\circ$. Если ширина пласти бруса $b_{i \min} = 0$ мм (т.е. резание не осуществляется и двухлезвийный нож пластъ древесины не формирует); $b_{i \max} = 0,7d_{б \max} = 350$ мм. Построим график зависимости l от a в заданных диапазонах изменения переменной величины b_i ($0 \leq b_i \leq 350$ мм).

В качестве примера на рис. 3 представлено пять графиков зависимости длины l_i от a в интервале от $-160 < a < +50$ мм при разных значениях b_1 ($0 \leq a \leq 350$ мм). Из рисунка 3 видно, что минимальная длина скошенной части технологической щепы не превышает $l_{\min} = 5$ мм. Наибольшее значение длины скошенной части технологической щепы в данном диапазоне изменения переменных величин a и b_i равно 47,17 мм для $b_1 = 350$ мм и $a = 50$ мм.

Из формулы (3) следует, что длина скошенной части элемента технологической щепы зависит от толщины $S_{щ}$ получаемой щепы и угла φ наклона короткого лезвия ножа по отношению к длинному лезвию. Расчет по выражению (3) с учетом $l_{щ} = 25$ мм показывает, что отношение $l_{э, \max} / l_{э, \min}$ достигает 2,41.

Для компенсации возможной неточности расположения двухлезвийных ножей на окружностях по радиусам R_1, R_2, \dots, R_i при установке их в корпуса фрез со смещением друг относительно друга на толщину $S_{щ}$ щепы длина короткого лезвия ножа должна быть увеличена приблизительно на 2 мм. Тогда, мм:

$$l_k = \frac{S_{щ}}{\sin \varphi_{щ}} + 2. \quad (7)$$

Качество поверхности среза торцов технологической щепы (поврежденность щепы), зависит от угла $\varphi_{щ}$, поэтому проанализируем зависимость $\varphi_{щ}$ от a при заданном значении b_i .

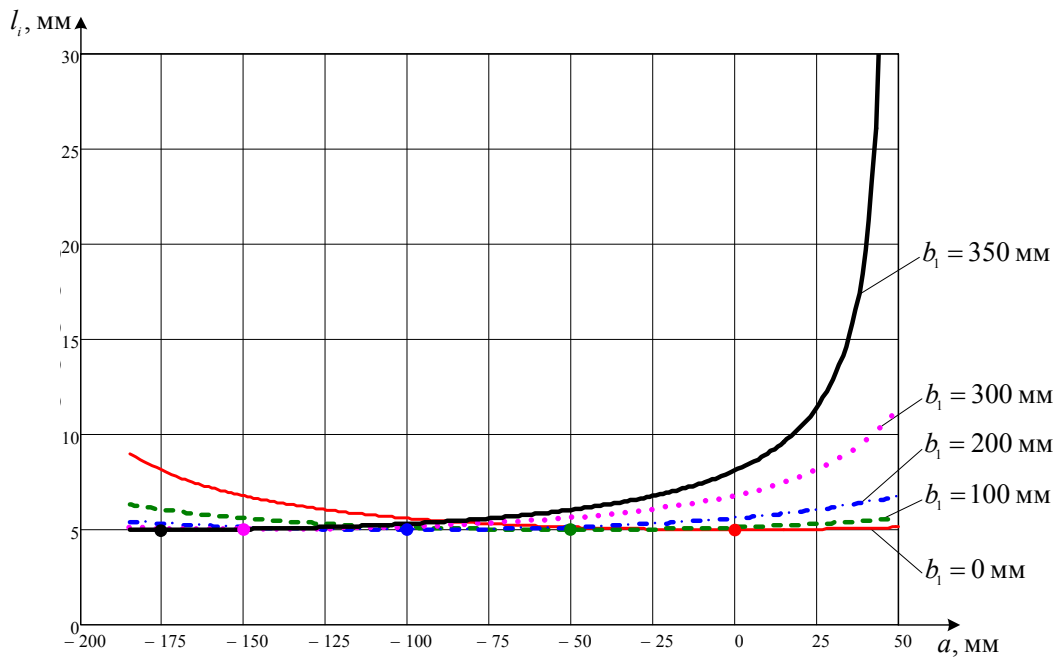


Рис. 3. Графики зависимости длины l_i скошенной части технологической щепы от величины a смещения оси бревна по отношению к оси вращения фрезы (● – минимумы зависимости l_i от a при разных b_i)

Тангенс угла $\varphi_{щ}$ среза торца технологической щепы (см. рис. 1) при заданном значении толщины $S_{щ}$ обратно пропорционален длине l_i скошенной части щепы. Учитывая формулу (4), получим:

$$\operatorname{tg} \varphi_{щ} = \frac{S_{щ}}{l_i} = \frac{S_{щ}}{\sqrt{R_i^2 - (a + \frac{b_i}{2})^2} - \sqrt{(R_i - \frac{S_{щ}}{\operatorname{tg} \varphi})^2 - (a + \frac{b_i}{2})^2}}. \quad (8)$$

На рис. 4 изображены графики зависимости $\varphi_{щ}$ от a в заданных диапазонах изменения переменной величины b_i ($0 \leq b_i \leq 350$ мм) .

В качестве примера на рисунке 4 представлено пять графиков зависимости $\varphi_{щ}$ от a в интервале от $-160 < a < +50$ мм при разных значениях b_i ($0 \leq a \leq 350$ мм).

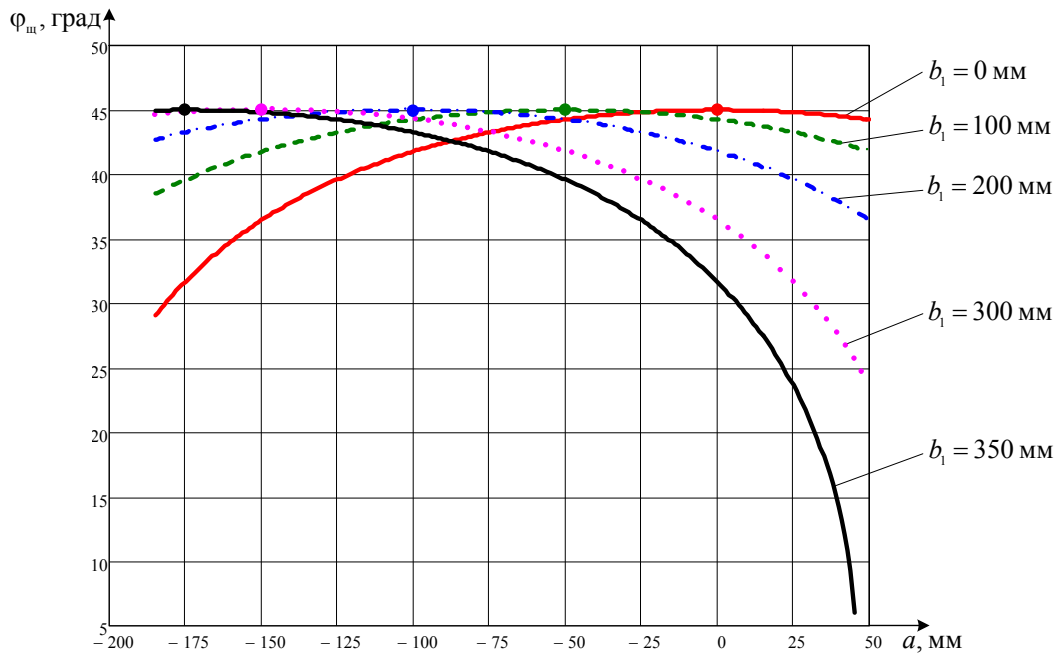


Рис. 4. Графики зависимости угла $\varphi_{щ}$ среза торца технологической щепы от величины a смещения оси бревна по отношению к оси вращения фрезы

Из рис. 4 видно, что для $b_1 = 350$ мм угол среза торца технологической щепы имеет наименьшее значение $\varphi_{щ} = 6^\circ$ при расположении оси обрабатываемого бревна выше оси вращения фрез на величину $a = 45$ мм, а максимальный угол среза $\varphi_{щ \max} = 45^\circ$ достигается для всех b_i при $a = -b_i/2$ (как это и должно быть, так как при $a = -b_i/2$ длина l_i принимает минимальное значение).

Представленные аналитические зависимости (1)–(8) устанавливают связь параметров технологической щепы и двухлезвийного ножа (длины, толщины, угла перерезания волокон). Они влияют на производительность процесса обработки древесины фрезами со спиральным расположением ножей, а также на качественные показатели получаемой продукции и поэтому их необходимо учитывать при расчетах режимов резания и проектировании фрез. Следует отметить, что представленные аналитические зависимости не учитывают угол заострения длинного и короткого лезвий ножа (β_d, β_k) и задний угол (α).

Библиографический список

1. Фефилов Л.А. Исследование условий базирования в подающей системе лесопильных рам: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.21.05 / Л.А. Фефилов; Центр. науч.-иссл. ин-т механ. обраб. древесины. – Архангельск, 1980. – 22 с.
2. Таратин В.В. К проблеме комплексного использования пиловочного сырья с применением фрезернопильного оборудования / В.В. Таратин // Проблемы лесн. комплекса России в переходный период развития экономики: материалы Всерос. науч.-техн. конф. / Волог. гос. техн. ун-т. – Вологда, 2003. – С. 108–110.
3. Лурье Л.З. Агрегатные методы выработки пиломатериалов: автореф. дис. ... докт. техн. наук: 05.21.05 / Л.З. Лурье; Моск. лесо-техн. ин-т. – М., 1978. – 42 с.