

влажности повышается точно так же, как и массовая его доля (при $\varphi = \text{const}$), из чего, однако, не следует, что появился или тем более увеличился перенос пара в стенках клеток. О повышении роли переноса пара по мере снижения влажности можно заключить также из работ [5, 18].

ЛИТЕРАТУРА

- [1]. Дерягин Б. В. К вопросу об определении понятия и величины расклинивающего давления и его роли в статике и кинетике тонких слоев жидкости // Коллоид. журн.—1955.—Т. 17, № 3.—С. 207—214. [2]. Кафаров В. В. Основы массопередачи.—3-е изд.—М.: Высш. шк., 1979. [3]. Клеточная стенка древесины и ее изменения при химическом воздействии.—Рига: Зинатне, 1972.—501 с. [4]. Краткий справочник по физике // Н. И. Карякин и др.—М.: Высш. шк.—560 с. [5]. Луцки П. П. Закономерности внутреннего тепло- и массопереноса при наличии избыточного давления в пористом материале в процессе конвективной сушки // Всес. науч.-техн. конф. по совершенствованию сушки.—Минск, 1981.—Секция 1.—С. 129—131. [6]. Лыков А. В. Теория сушки.—М.: Энергия, 1968.—470 с. [7]. Лыков А. В. Теория тепло- и массообмена в процессах сушки.—М.: Госэнергоиздат, 1956.—464 с. [8]. Путилов К. А. Курс физики.—5-е изд.—М.: Просвещение, 1952.—Т. 1.—792 с. [9]. Серговский П. С. Исследование влагопроводности и разработка методов расчета процессов сушки и увлажнения древесины: Автореф. дис... д-ра техн. наук.—М., 1953.—42 с. [10]. Фоломин А. И. Физические основы тепловой сушки древесины и особенности ее сушки в неводных жидкостях.—М., 1956.—46 с. [11]. Чудинов Б. С. Вода в древесине.—Новосибирск: Наука, 1984.—267 с. [12]. Шредингер Э. Что такое жизнь? С точки зрения физики.—М., 1972.—88 с. [13]. Штамм А. Поверхностные свойства целлюлозных материалов / Пер. с англ. // Химия древесины. Т. 2.—М.; Л.: ГЛБИ, 1960.—557 с. [14]. Шубин Г. С. Сушка и тепловая обработка древесины (вопросы теории, методы расчета процессов, совершенствование технологии): Автореф. дис... д-ра техн. наук.—М., 1985.—48 с. [15]. Шубин Г. С. Физические основы и расчет процессов сушки древесины.—М.: Лесн. пром-сть, 1973.—248 с. [16]. Babbit I. D. More on application of Fick's Law // Wood Sci.—1977.—N 9.—P. 149—152. [17]. Bramhall G. Fick's Law and bound-water diffusion // Wood Sci.—1977.—N 6.—P. 153—161. [18]. Choong E. T., Fogg P. I. Moisture Movement in six wood species // Forest Prod. J.—1968.—N 10.—P. 417—419. [19]. Rosen H. N. Diffusion theories and pair matching samples // Wood sci.—1977. V. 9. P. 1—3. [20]. Skaar G. H. Water in wood.—New York.—1972.—218 p.

Поступила 12 мая 1989 г.

УДК 674.093

О РАСКРОЕ ПИЛОВОЧНЫХ БРЕВЕН НЕПРАВИЛЬНОЙ ФОРМЫ

С. Г. ЕЛСАКОВ, Р. Е. КАЛИТЕЕВСКИЙ

Ленинградская лесотехническая академия

Значительная доля (до 30 %) пиловочных бревен, поступающих на лесопильные предприятия отрасли, имеет кривизну до 2 %. Кроме того, практически каждое бревно в поперечном сечении имеет отклонения от формы круга. У пиловочника хвойных пород, полученного из нижней и срединной частей ствола, диаметры (по данным проф. Н. П. Анучина) различаются на 3,1...3,7 %. При среднем диаметре 30 см эллиптичность возможна у 80 % бревен.

Считают, что каждый процент кривизны дает снижение выхода пиломатериалов на 8...10 %. Эллиптичность бревен влияет на изменение ширины и толщины спецификационных пиломатериалов. Поэтому выбор поставка необходимо осуществлять с учетом как кривизны, так и эллиптичности. Из-за неправильной установки кривых брусков перед раскромом общий выход пиломатериалов из них уменьшается до 2,5 % [9]. Невозможность визуального определения оптимальной обрезки кривых досок также приводит к значительным потерям древесины.

Известен ряд работ по определению оптимальной ориентации кривого бруса перед раскроем [9], различных способов базирования кривых бревен [8], разных способов ориентации кривых досок перед обрезкой [5].

Однако пока бревна неправильной формы раскраивают практически теми же системами поставов и базируются (ориентируются) теми же устройствами, что и бревна, не имеющие кривизны и эллиптичности.

Оборудование наших лесопильных предприятий не позволяет ориентировать кривой брус в оптимальное положение по отношению к поставу пил. Ориентация кривых досок основана на визуальной оценке.

В странах с высокоразвитой технологией лесопиление базируется на использовании управляющих ЭВМ с системами сканирующих датчиков. Это позволяет оптимизировать поставки и осуществить ориентацию предмета обработки в оптимальное положение для раскроя. Использование таких систем окупает затраты на их приобретение за 2—6 месяцев [10].

Как правило, сортировку бревен на наших лесозаводах производят по четным диаметрам. Однако сортировка бревен по поставам, дающим максимальный объемный выход из бревна, с учетом не только вершинного диаметра, но сбega и длины бревна, приводит к увеличению объемного выхода пиломатериалов по сравнению с сортировкой по четным диаметрам на 1,5...2 % [4].

Для бревен неправильной формы следует также учитывать эллиптичность сечения, кривизну и форму оси бревна.

При решении этой проблемы основными вопросами являются следующие.

1. Разработка имитационной модели раскроя бревен, брусьев, необрезных досок неправильной формы.

2. Проведение исследований на разработанной имитационной модели различных технологий сортировки и раскроя бревен неправильной формы с целью прогнозирования увеличения объемного выхода пиломатериалов.

Исходные технологические положения, определяющие варианты ориентации бревна, бруса и необрезных досок перед раскроем:

на первом проходе бревно ориентируется кривизной вниз (вверх) с возможным смещением центра комлевого сечения относительно центра вершинного сечения; на втором проходе брус ориентируется кривизной в бок также с возможностью смещения центра комля относительно центра вершины. Аналогично возможна различная ориентация кривой необрезной доски перед обрезным станком.

Имитация раскроя бревен неправильной формы зависит от условий поставленной задачи: раскрой по заданному поставу и по заданной ориентации, определяемой особенностями ориентирующих устройств; проектирование и расчет оптимального постава и оптимальной ориентации бревна, бруса, доски перед продольным раскроем.

На рис. 1 приведена блок-схема алгоритма проектирования и расчета оптимального постава и оптимальной ориентации бревна, бруса и досок неправильной формы.

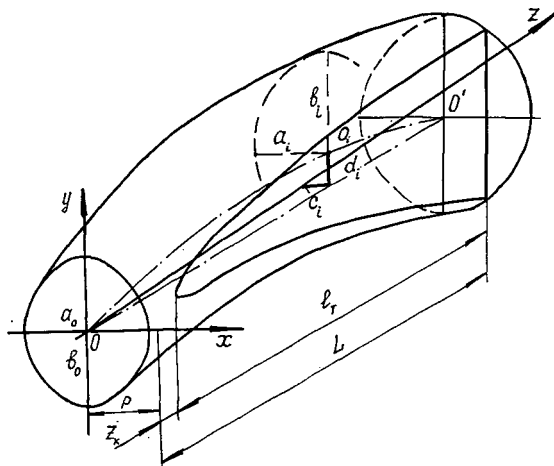
Поскольку большинство бревен неправильной формы (порядка 90 % [1]) имеют одностороннюю кривизну, то изогнутая ось бревна представлена полиномом третьей степени. Как правило, большая ось эллиптического сечения бревна и плоскость, в которой расположена изогнутая ось, совпадают [2].

Исходную модель бревна формируют по формуле [6]

$$\frac{(x_i - c_i)^2}{a_i^2} + \frac{(y_i - d_i)^2}{b_i^2} = 1, \quad (1)$$

где x_i, y_i — координаты точек поверхности бревна, представленного на рис. 2;

Рис. 2. Расчетная схема раскроя и ориентации бревна неправильной формы



d_i — координата y точки оси бревна, определяемая по формуле

$$d_i = k_3 z_i^3 + k_2 z_i^2 + k_1 z_i + k_0.$$

(где $k_0 \dots k_3$ — коэффициенты полинома).

Помимо геометрических параметров бревна должны быть заданы: массив $Q1(i, j)$, содержащий спецификацию сечений пиломатериалов, где $Q1_i$ — толщина досок; $Q1_j$ — соответствующие заданным толщинам ширины досок;

массив $Q2(i, j)$, содержащий значения сечений пиломатериалов с припусками на усушку;

массив $BR(i, j)$, содержащий значения толщин брусьев и центральных досок, ширина которых соответствует толщине бруса;

массив $BR1(i, j)$, содержащий значения брусьев и центральных досок с припуском на усушку;

минимальная длина доски, разрешенная к выпилке, — l_{min} ;

градация длины досок — gr ;

толщина пропила — $t_{пр}$.

Расчет начинают (блок 2 на рис. 1) с выбора толщины бруса BR_i из массива $BR(i, j)$. Расход ширины полуостава на брус определяют как половину его толщины (бл. 4) $p = \frac{BR1_i}{2}$. Управление передается подпрограмме ПП1 расчета раскроя необрезных досок (бл. 5).

В подпрограмме ПП1 после расчета расхода на боковую доску $p = p + Q2_j + t_{пр}$ (бл. 1) определяют координаты наружной пласти доски (бл. 2) решением системы уравнений

$$\begin{cases} \frac{(x_i - c_i)^2}{a_i^2} + \frac{(y_i - d_i)^2}{b_i^2} = 1; \\ x_i = p. \end{cases} \quad (2)$$

Коэффициенты k_0, k_1, k_2, k_3 находят (бл. 6) по методу наименьших квадратов, аппроксимируя значения координат y_{i1}, y_{i2} . Текущую длину l_r доски определяют (бл. 3), по выражению $l_r = L - z_k$, где z_k — длина участка, на котором система уравнений (2) не имеет решений. Если $l_r \geq l_{min}$, то осуществляется переход к блоку 4, с помощью которого вычисляют значение первоначального угла ориентации φ доски перед обрезкой, как угла между хордой KB выпуклой кромки и линией, соединяющей центры торцов доски $O_k - O'$ (см. рис. 3, а).

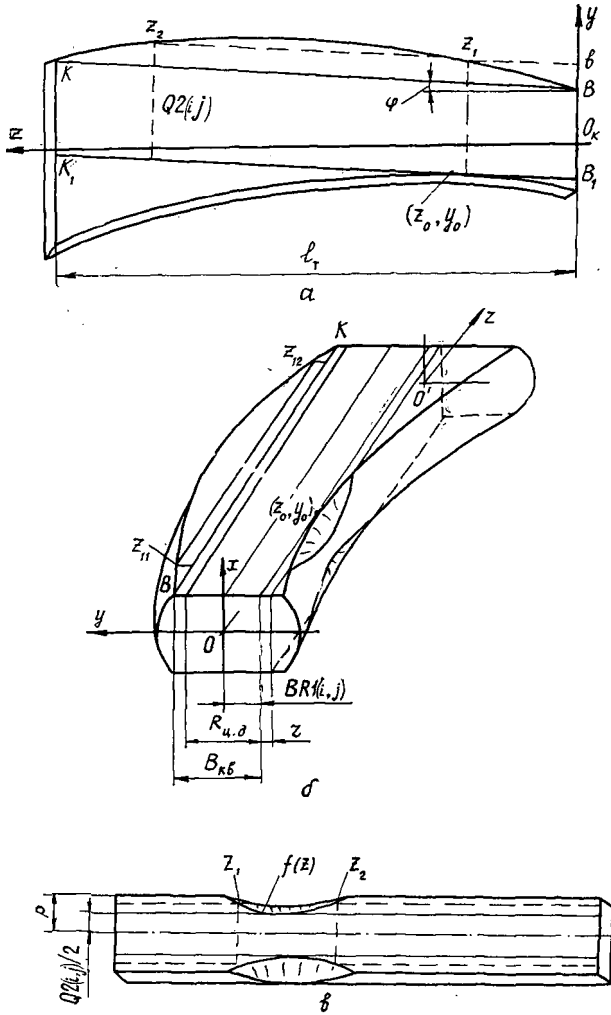


Рис. 3. Расчетная схема раскроя и ориентации: а — необрезной доски неправильной формы, полученной на I проходе; б — бруса неправильной формы; в — доски неправильной формы, полученной на II проходе

Линия обрезки K_1B_1 нижней кромки доски должна быть параллельна прямой KB и являться касательной к вогнутой кромке. Угловым коэффициентом касательной в точке касания z_0 равен первой производной функции

$$y = k_0 + \sum_{i=1}^3 k_i z^i, \quad (3)$$

выражающей вогнутую кромку доски $\operatorname{tg} \varphi = f'(z_0)$. Продифференцировав уравнение (3), находят z_0 ; подставляя его в уравнение (3), получают значение координаты y_0 (бл. 5).

Выбор ширины доски осуществляется из массива $Q2(i, j)$ (бл. 6).

Начиная с самой узкой, перебираются все ширины для соответствующей толщины доски. Если ширины не кончились, определяют длину доски решением системы уравнений:

$$\begin{cases} y = f(z); \\ y = z \operatorname{tg} \varphi + b. \end{cases} \quad (4)$$

Первое уравнение системы — полином 3-й степени, который выражает выпуклую необрезную кромку доски; во втором уравнении значение b определяют из выражения $b = y_0 + Q2(i, j) = \operatorname{tg} \varphi z_0$.

Систему (4), преобразованную к линейному уравнению вида

$$f(z) = z \operatorname{tg} \varphi + b, \quad (5)$$

решают любым известным методом (простых итераций, Ньютона и т. д.) на отрезке $[0; L_T]$ с заданной погрешностью ξ вычисления корней $z_{i,2}$. В данной работе использован метод, представленный в работе [3]. Спецификационную длину обрезной доски вычисляют по формуле

$$L_d = \operatorname{mod} 1 \left(\frac{z_2 - z_1}{gr} \right) gr. \quad (6)$$

Объем доски при текущей ширине доски

$$V_d^T = L_d Q1_i Q1(j). \quad (7)$$

Если ширины досок закончились (соблюдение условия бл. 7), управление передается бл. 8, который изменяет угол ориентации доски перед обрезкой на величину $< \varphi$.

По окончании вариантов ориентации доски перед обрезкой максимальный объем доски суммируют с объемом досок, полученных на первом проходе (бл. 10), и управление вновь передается блоку 1.

При симметричном раскрое, когда нет смещения центра комлевого торца относительно вершинного, расчет первого прохода заканчивается при несоблюдении условия бл. 3. Полученный суммарный объем досок удваивается, и происходит возврат в основную программу.

При несимметричном раскрое постав рассчитывают аналогично выше представленному алгоритму, но с противоположной стороны от оси поставы, поэтому в системе уравнений (2) расход ширины поставы p берут со знаком "—".

При возвращении в основную программу управление передается блоку 6, с помощью которого рассчитывают координаты наружной пласти бруса y_{i1}, y_{i2} решением системы уравнений (2). Блоком 7 вычисляют первоначальный угол ориентации бруса к оси поставы $< \varphi$, как угол между хордой BK выпуклой кромки бруса и линии, соединяющей центры торцов бруса $0-0'$ (рис. 3, б). Кромка наружной пласти центральной доски должна быть касательной к вогнутой кромке бруса в точке с координатами z_0, y_0 , расчет которых производят аналогично рассмотренному случаю при обрезке доски (бл. 8).

Блок 9 производит расчет объемов боковых досок, расположенных с вогнутой стороны (с правой) бруса от пакета центральных досок. Расчет расхода ширины полупоставы на каждую доску будет определяться как $r = r - Q2_i - t_{np}$. Первоначально $r = y_0 - z_0 \operatorname{tg} \varphi$. Форма полученной доски представлена на рис. 3, в).

Из доски такой формы можно получить либо две или одну короткую доску, либо одну узкую доску полной длины. Координаты верхней кромки этой доски (досок) x_{i1} определяют решением системы уравнений

$$\begin{cases} \frac{(x_i - c_i)^2}{a_i^2} + \frac{(y_i - d_i)^2}{b_i^2} = 1; \\ y_i = r + z_i \operatorname{tg} \varphi \end{cases} \quad (8)$$

при условии, что $x_i \leq p$, т. е. координаты лежат не выше пласти бруса.

Аппроксимируя полученные значения x_{1i} по методу наименьших квадратов, получают коэффициенты функции, определяющие верхнюю кромку доски $x = f(z)$. Методом перебора, начиная с наименьшей ширины доски из массива $Q2(i, j)$, определяют длину (длины) получаемой доски (досок) решением системы уравнений:

$$\begin{cases} x = f(z); \\ x = \frac{Q2(i, j)}{2}. \end{cases} \quad (9)$$

Первое уравнение системы (9) выражает верхнюю кромку доски, а второе — половину ширины доски, выбираемой из массива $Q2(i, j)$. Корни решения системы уравнения z_1, z_2 (приведя ее к линейному виду $f(z) = Q2(i, j)/2$) находят описанным выше методом [3]. При наличии корней z_1 и z_2 длины получаемых досок определяют следующим образом:

$$l_{n1} = \text{mod } 1(z_1/gr) gr; \quad l_{n2} = \text{mod } 1\left(\frac{L - z_2}{gr}\right) gr.$$

Если система уравнений (9) не имеет решений при условии $\frac{Q2(i, j)}{2} < p$, то длина получаемой доски равна длине бруса.

По окончании перебора ширин находят размеры доски наибольшего объема; ее объем суммируют с объемом боковых досок второго прохода. Управление передается блоку 10, определяющему ширину пласти бруса B_{kb} , из которой могут быть выпилены безобзолные доски полной длины, по формуле:

$$B_{kb} = |y_0| + y_{11} + z_0 \text{tg } \varphi.$$

Из массива $BR1(i, j)$ блоком 11 осуществляют перебор толщин центральных досок, ширина которых соответствует толщине бруса, и вычисляют количество $N_{ц.д}$ и объем $V_{ц.д}$ получаемых центральных досок:

$$N_{ц.д} = \frac{B_{kb}}{BR1(i, j) + t_{пр}}; \quad V_{ц.д} = N_{ц.д} BR(i, j) BR_i L.$$

Расход постава на выпилку центральных досок

$$R = y_0 + N_{ц.д} (BR1(i, j) + t_{пр}) - t_{пр}.$$

Бл. 13 рассчитывает и суммирует объемы боковых тонких досок, стоящих слева, т. е. в сторону выгнутой кромки бруса от центральных досок.

По окончании толщин центральных досок (выполнение условия блока 12) управление передается блоку 14, который изменяет угол ориентации бруса перед раскромом. Затем управление передается блоку 8; расчет повторяется при новом угле ориентации. По окончании вариантов изменения угла ориентации бруса управление передается блоку 16, изменяющему величину смещения комлевого торца бревна относительно вершинного. Если варианты смещения бревна закончились (выполнение условия бл. 17), то управление передается блоку 2 для выбора следующей толщины бруса. По окончании выбора толщин брусьев или выбора толщины бруса больше 0,8 от величины вершинного диаметра процедура вычисления заканчивается, и в качестве исходных данных выдается оптимальный постав и оптимальные варианты ориен-

Варианты технологий сортировки, раскроя и ориентации бревен неправильной формы	Коэф-фициент кри-визны, %	Объемный выход, %, пиломатериалов из бревен диаметром, см									
		16	18	20	22	24	26	28	30	32	
Сортировка по четным диаметрам, раскрой по существующим системам поставов при существующих устройствах первичного базирования	1	43,8	46,8	49,2	49,4	51,6	53,2	53,9	55,5	55,6	
	1,5	40,0	43,0	45,4	47,1	48,4	50	51,7	53,4	53,2	
Сортировка и раскрой по оптимальным системам поставов при существующих устройствах первичного базирования	1	43,8	46,8	49,8	51,6	53,5	55,5	55,5	56,4	57,0	
	1,5	40,0	45,0	45,4	47,1	50,3	51,9	52,5	53,6	53,5	
Сортировка по существующей системе поставов при возможности гибкого первичного базирования брусьев и необрезных досок	1	46,4	50,0	52,4	53	54,1	56,7	59,1	58,4	59,1	
	1,5	41,4	46,2	46,5	47,8	50,8	54,4	56,0	55,8	55,5	
Сортировка и раскрой по оптимальным системам поставов при оптимальном первичном базировании бревен, брусьев и необрезных досок	1	48,3	50,7	52,4	53,0	54,6	57,6	59,1	60,2	60,5	
	1,5	41,6	46,8	47,3	48,3	50,8	55,0	56,0	57,0	56,0	
Сортировка по четным диаметрам и раскрой по существующим системам поставов бревен неправильной формы	0	53,7	55,4	57,2	59,0	61,9	62,0	63,0	65,0	65,0	

Примечание. Эллиптичность сечения 3,5 %.

тадии бревна, бруса и досок неправильной формы перед продольным раскроем.

Проверка адекватности имитационной модели осуществлена в производственных условиях. Результаты проведенных исследований машинного эксперимента на имитационной модели представлены в таблице. В качестве исходных данных использованы система поставов и спецификация сечений пиломатериалов ЛДК-3 (Архангельск).

В таблице представлен объемный выход пиломатериалов из 6-метровых бревен правильной и неправильной формы при различных способах сортировки, раскроя бревен, брусьев и досок.

Первый вариант соответствует существующей на предприятии технологии, т. е. бревна неправильной формы сортируют по тем же группам четных диаметров, что и правильной формы, и раскрой производят соответствующими для групп четных диаметров поставами. Брусья ориентируют центрирующими устройствами типа ПРДВ-80.

Из данных таблицы видно, что наибольшее увеличение объемного выхода пиломатериалов — около 4 % (с учетом распределения бревен по диаметрам [7] при среднем диаметре 20 см и статистики распределения бревен по диаметрам в зависимости от размера кривизны [1]), можно получить при сортировке бревен неправильной формы по оптимальным поставам и осуществлении гибкого первичного базирования бревен, брусьев и необрезных досок перед продольным раскромом. Следует учитывать некоторое увеличение числа сортировочных групп бревен, которое по результатам исследований для условий рассматриваемого предприятия составляет 5—6 дополнительных групп. В связи с этим могут возникнуть ситуации больших временных периодов накопления сырья.

В настоящее время наиболее рационально осуществлять сортировку бревен с учетом всех их геометрических параметров по существующим системам поставок. В этих условиях при наличии гибкого базирования перед продольным раскромом предмета обработки неправильной формы выход пиломатериалов можно увеличить в среднем на 3,2 %.

Применение оборудования для гибкого первичного базирования на основе оптимизирующих систем позволяет увеличить объемный выход пиломатериалов не только из сырья неправильной формы, но и из бревен, брусьев и необрезных досок, не имеющих пороков формы [10]. Поэтому первоочередной задачей следует считать разработку и внедрение в отечественном лесопилении систем гибкого базирования с автоматической оптимизацией.

ЛИТЕРАТУРА

- [1]. Ваенский Н. Н. Исследование раскроя бревен хвойных пород с кривизной. Автореф. дис. ... канд. техн. наук.—Л.: ЛТА, 1975.—20 с. [2]. Виллистон Э. Производство пиломатериалов.—М.: Лесн. пром-сть, 1981.—382 с. [3]. Дьяконов В. П. Справочник по алгоритмам и программам на языке Бейсик для персональных ЭВМ.—М.: Наука, 1989.—240 с. [4]. Калитеевский Р. Е., Сухов И. Е., Дудкин О. В., Герасименко П. Р. Анализ объемного выхода пиломатериалов при сортировке бревен различными методами // Межвуз. сб. науч. тр. / Ленингр. лесотехн. акад.—1987.—Технология и оборудование деревообрабатывающих производств.—С. 12—15. [5]. Колейкин А. М. Математическое моделирование и автоматизация управления операцией обрезки пиломатериалов: Автореф. дис. канд. техн. наук.—Минск: БТИ, 1971—23 с. [6]. Пижурин А. А., Розенблит М. С. Основы моделирования и оптимизации процессов деревообработки.—М.: Лесн. пром-сть, 1988.—294 с. [7]. Руководящие технические материалы по нормированию расхода сырья в производстве пиломатериалов.—Архангельск: ЦНИИМОД, 1978.—120 с. [8]. Ступенев Г. К. Новые принципы базирования круглых лесоматериалов при механической обработке.—М.: ВНИПИЭИлеспром, 1978.—120 с. [9]. Туршев В. Г. Технологические основы автоматизированного производства пиломатериалов.—М.: Лесн. пром-сть, 1975.—208 с. [10]. Eklund V. Mätning av utbitet i blockautomat. // Sägverken.—1983.—No 3. S. 78—79, 81, 83, 85.

Поступила 14 декабря 1989 г.

УДК 621.923.4 : 621.921.34 : 674-41

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ
РЕЖИМОВ РЕЗАНИЯ И ТЕМПЕРАТУРЫ НА СТРУКТУРНЫЕ
ПРЕВРАЩЕНИЯ ДРЕВЕСИНЫ И ЗАСАЛИВАНИЕ
АЛМАЗНО-АБРАЗИВНОГО ИНСТРУМЕНТА**

*А. В. АЛФИМОВ, В. Г. МАЛОГОЛОВЕЦ, В. В. ОГОРОДНИК,
Л. А. ФЕДОСЕЕВ*

Институт сверхтвердых материалов АН УССР

Одной из причин ухудшения работоспособности шлифовального инструмента, а в ряде случаев полной потери режущих свойств при шлифовании древесных материалов является засаливание абразивосодержащего слоя инструмента продуктами обработки.

Известно, что необходимая предпосылка для нормальной работоспособности шлифовального инструмента — свободное размещение срезаемой стружки в межзерновом пространстве, которое обеспечивается следующим условием [3]:

$$k_v = \frac{Q_{\text{стр}}}{Q_{\text{м.з}}} < 1, \tag{1}$$

где k_v — коэффициент заполнения межзернового пространства;
 $Q_{\text{стр}}$ — объем стружки, снятой инструментом за один оборот

$$Q_{\text{стр}} = \frac{\pi D u S t}{v}; \tag{а}$$

$Q_{\text{м.з}}$ — объем пространства между зернами алмазоносного слоя инструмента

$$Q_{\text{м.з}} = \pi D S h_v - N q_v. \tag{б}$$

В формулах (а) и (б) обозначено:

D — диаметр инструмента;

u — скорость продольной подачи;

v — скорость резания;

S — ширина обработки;

t — глубина резания;

h_v — средняя величина выступания алмазных зерен над связкой, в данном случае ее принимали равной половине средневзвешенного кубического размера алмазного зерна $0,5 d_{\text{с.п}}$ (для зернистостей 800/630, 630/500 и 400/315 значения $d_{\text{с.п}}$ соответственно равны 0,715, 0,561 и 0,354 мм [9]);

q_v — объем алмазного зерна, выступающего над связкой; в данном случае $q_v = 0,5 q$ — объема алмазного зерна [1], его рассчитанные значения приведены в таблице;

N — число зерен данной зернистости на площади рабочей поверхности инструмента.

$$N = \frac{\pi D S n \xi}{100}.$$

Здесь n — число алмазных зерен на единице площади рабочей поверхности инструмента — 100 мм²;