

**БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. Бершадский А. Л. Расчет режимов резания древесины. - М.: Лесная промышленность, 1967.
2. Пугачев В. С., Синицин И. Н. Стохастические дифференциальные системы. Анализ и фильтрация. - 2-е изд., доп. - М.: Наука, 1990.
3. Богуславский И. А. Прикладные задачи фильтрации и управления. - М.: Наука, 1983. - 400 с.

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЛИЯЮЩИХ НА СИЛОВЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ  
ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ПРОЦЕССА РЕЗАНИЯ  
НА ФРЕЗЕРНО-БРУСУЮЩИХ СТАНКАХ**

Раповец В.В., Бурносков Н. В. (БГТУ, г. Минск, РБ) [dosy@bstu.unibel.by](mailto:dosy@bstu.unibel.by)

**DEFINITION OF PARAMETERS OF CUTTING PROCESS  
ON THE MILLING-BAR MACHINE TOOLS INFLUENCING  
POWER PARAMETRS**

Совершенствование фрезерно-брусующих станков требует проведения специальных исследовательских работ, направленных на улучшение процесса переработки тонкомерных бревен с заданной производительностью и получением пилопродукции (брус и технологическая щепка) необходимого качества. При этом следует учитывать различные факторы, влияющие на процесс резания [1].

Среди этих факторов можно выделить производительность, размерно-качественные характеристики щепки и пласти бруса в зависимости от параметров режущего инструмента. Это взаимосвязанные факторы. Они определяют во многом технико-экономическую эффективность процесса переработки тонкомерных бревен [2].

Вопросы обработки древесины спиральными двухлезвеными фрезами (конструкция БТИ) недостаточно тщательно изучены как в силовом, так и в качественном отношении. Ведь для резания технологической щепки необходим один режим, а для формирования качественной пласти бруса – уже другой, несколько отличающийся от первого режима. К тому же весь этот процесс сопровождается значительными ударными нагрузками, затрудняющими измерение силовых показателей.

Рассмотрим принцип формирования щепки и пласти бруса (рис. 1).

На рис. 1 изображено перерабатываемое бревно диаметром  $D$  в трех проекциях, которое движется со скоростью подачи  $U$  (м/мин) между правой I и левой II фрезами с центром  $O$  и частотой вращения  $n$  (мин<sup>-1</sup>). Ось бревна смещена выше центра фрез на размер  $a$ . Резцами  $1, 2, \dots, i$  радиусами  $R_1, R_2, \dots, R_j$ , расположенными на одной спирали Архимеда, срезаются с каждой стороны бревна последовательно три слоя так, что получается брус высотой  $h_i$  и шириной меньшей пласти  $b_i$ . При этом резцы на правой и левой фрезе имеют прямую короткую кромку под углом  $\varphi_p$ . Угол среза торца щепки  $\varphi_{щ}$  в общем случае не равен углу скоса короткой кромки резца  $\varphi_p$ . Длинная кромка  $l_d$  формирует щепку по толщине  $S_{щ}$ , а короткая  $l_k$  по длине  $l_{щ}$ .

На горизонтальной проекции бревна показана форма поперечных сечений щепки на уров-

не АО, на фронтальной – на уровне входа резца в древесину ( $a + b_i/2$ ), и на профильной показана форма режущих кромок резцов. При срезании слой древесины разрушается на отдельные щепки неопределенной ширины, но с постоянной площадью поперечного сечения  $F$ .

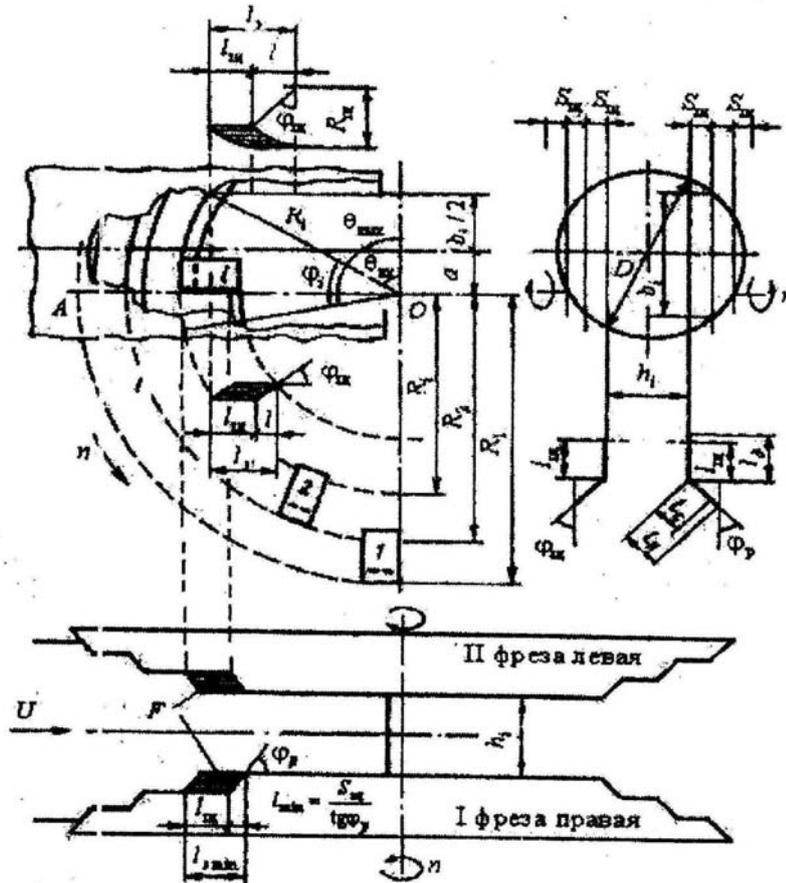


Рисунок 1 – Схема формирования элементов щепы и бруса

Определим теперь основные параметры щепы и резцов. Длина щепы по направлению волокон древесины

$$U_z = l_{щ} = \frac{1000 \cdot U}{z \cdot n},$$

где  $U$  – скорость подачи, м/мин;  
 $z$  – количество резцов, приходящихся на срезание одного слоя.

Длина длинной кромки резца

$$l_{д} = l_{щ} + 2 \text{ мм.}$$

Увеличение на 2 мм делается для компенсации возможной неточности расположения резцов по радиусам  $R_1, R_2, \dots, R_j$ . Длина элемента щепы  $l_3$  представляет собой длину щепы плюс длину скошенной части щепы. Рассмотрим этот случай.

$$l_3 = l_{щ} + l = l_{щ} + \sqrt{R_i^2 - \left(a + \frac{b_i}{2}\right)^2} - \sqrt{\left(R_i - \frac{S_{у}}{\operatorname{tg} \varphi_p}\right)^2 - \left(a + \frac{b_i}{2}\right)^2}, \quad (1)$$

где  $l$  – длина скошенной части элемента щепы, мм;  
 $\varphi_p$  – угол скоса прямой короткой кромки резца, град.

Проанализируем полученную зависимость (1):

1.  $l_{3\max}$  будет при условии

$$\left(a + \frac{b_i}{2}\right) = \left(R_i - \frac{S_{щ}}{\operatorname{tg} \varphi_p}\right).$$

$$l_{\text{э max}} = l_{щ} + \sqrt{R_i^2 - \left(R_i - \frac{S_{щ}}{\operatorname{tg} \varphi_p}\right)^2}.$$

2.  $l_{\text{э min}}$  будет при условии  $\left(a + \frac{b_i}{2}\right) = 0$ ;  $l_{\text{э min}} = l_{щ} + \frac{S_{щ}}{\operatorname{tg} \varphi_p}$ .

Из (1) следует, что длина элемента щепы зависит от технологических и инструментальных факторов. Длина элемента изменяется только за счет длины скошенной части щепы. Расчет показывает, что для средних условий  $l_{\text{э max}}/l_{\text{э min}}$  достигает двух.

Длина среза торца щепы

$$l_c = \frac{S_{щ}}{\sin \varphi_{щ}}. \quad (2)$$

Длина прямой короткой кромки реза

$$l_k = l_c + 2 \text{ мм.}$$

Длина контура среза щепы включает поперечное резание длинной кромкой и торцово-поперечное – короткой кромкой:

$$L = l_{щ} + l_c. \quad (3)$$

Угол среза торца щепы

$$\operatorname{tg} \varphi_{щ} = \frac{S_{щ}}{l} = \frac{S_{щ}}{\sqrt{R_i^2 - \left(a + \frac{b_i}{2}\right)^2} - \sqrt{\left(R_i - \frac{S_{щ}}{\operatorname{tg} \varphi_p}\right)^2 - \left(a + \frac{b_i}{2}\right)^2}}. \quad (4)$$

Проанализируем аналитическую зависимость (4):

1.  $\operatorname{tg} \varphi_{щ \text{ max}}$  будет при условии  $l_{\text{min}} = \frac{S_{щ}}{\operatorname{tg} \varphi_p}$ ;  $\operatorname{tg} \varphi_{щ \text{ max}} = \operatorname{tg} \varphi_p$ ; т.е.  $\varphi_{щ \text{ max}} = \varphi_p$ .

2.  $\operatorname{tg} \varphi_{щ \text{ min}}$  будет при условии

$$l_{\text{max}} = \sqrt{R_i^2 - \left(R_i - \frac{S_{щ}}{\operatorname{tg} \varphi_p}\right)^2}.$$

$$\operatorname{tg} \varphi_{щ} = \frac{S_{щ}}{l_{\text{max}}}.$$

Угол среза торца щепы  $\varphi_{щ}$  меньше угла скоса короткой кромки реза  $\varphi_p$ . Они равны между собой только при  $(a + b_i/2) = 0$ . Отношение  $\operatorname{tg} \varphi_{щ \text{ max}}/\operatorname{tg} \varphi_{щ \text{ min}}$  достигает четырёх. Известно, что качество щепы во многом определяется качеством торцового среза, а условия резания зависят от угла перерезания волокон древесины  $\varphi_{щ}$ .

Площадь поперечного сечения щепы

$$F = S_{щ} \cdot l_{щ}. \quad (5)$$

Эта площадь зависит от длины и толщины щепы и не зависит от ее конфигурации.

Объем стружки (с некоторым приближением), срезаемый  $i$ -м резцом с бревна за один рез (один оборот фрезы):

$$V = F \cdot V_i \quad (6)$$

Изменяя сечение резца за счет толщины или длины щепы, можно выяснить их раздельное влияние на силовые показатели.

При определении мощности на резание удобно пользоваться

$$P = K \cdot O = K \cdot \left( \frac{\pi D^2 \operatorname{arctg} \frac{\sqrt{D^2 - h_i^2}}{h_i}}{360} - \frac{\sqrt{(D^2 - h_i^2)} \cdot h_i}{2} \right) \cdot \frac{1000 \cdot U}{60}, \quad (7)$$

где  $O$  – объём щепы ( $\text{см}^3$ ), срезаемый в секунду;

$b$  – ширина пласти, см;

$D$  – средний диаметр бревна, см;

$U$  – скорость подачи, м/мин.

Угол входа  $i$ -го резца в древесину (кромки  $l_d$  и  $l_k$  полностью вступают в работу)

$$\cos \theta_{\text{вх}} = \frac{a + b_i / 2}{R_i}. \quad (8)$$

Угол выхода  $i$ -го резца из древесины (кромка  $l_k$  заканчивает торцовый срез)

$$\theta_{\text{вых}} = 180^\circ - \left( \arccos \frac{b_i / 2 - a}{R_i} \right). \quad (9)$$

Угол контакта  $i$ -го резца с древесиной

$$\varphi_i = \theta_{\text{вых}} - \theta_{\text{вх}}. \quad (10)$$

Длина дуги контакта (резца с древесиной)

$$l_i = 0,0175 \cdot R_i \cdot \varphi_i. \quad (11)$$

Рассмотрим подробнее угловые параметры режущего элемента. У известных резцов есть один общий признак – наличие двух режущих кромок [3].

На рис. 2 показаны линейные и угловые параметры резца, короткая режущая  $ab$  и длинная  $бв$ . При этих кромках есть соответствующие углы заострения  $\beta_k$  (сечение А-А) и  $\beta_d$  (сечение Б-Б). На нашем рисунке показана громка  $бг$ , которая является линией пересечения передних граней резца  $гбв$  и  $гба$ , по которым сходит стружка – щепа. Наружная кромка  $аг$  образует с боковой кромкой резца угол  $\beta_1$ , который не участвует в резании. Между внутренней кромкой  $бг$  и наружной кромкой  $бд$  расположен угол заострения  $\beta_0$  (сечение В-В). Угол  $\beta_2$  расположен в сечении Г-Г. Задние грани резца  $abd$  и  $dbv$  скользят по обрабатываемой поверхности бревна в направлении вектора скорости резания  $V$ . Задние углы резания относительно малы ( $3-5^\circ$ ) и могут быть приняты равными нулю для упрощения аналитического определения углов. Между плоскостью В-В и задними гранями  $abd$  и  $dbv$  образуются вспомогательные углы  $x$  и  $y$ . В плоскости Б-Б расположен угол  $\varphi_1$ . Внутренняя кромка  $бг$  находится на передней грани  $гбв$  под углом  $\varphi_2$  к длинной режущей кромке  $бв$ . Конструктивные углы резца  $\varphi_1$  и  $\varphi_2$ , угол среза торца щепы  $\varphi$ .

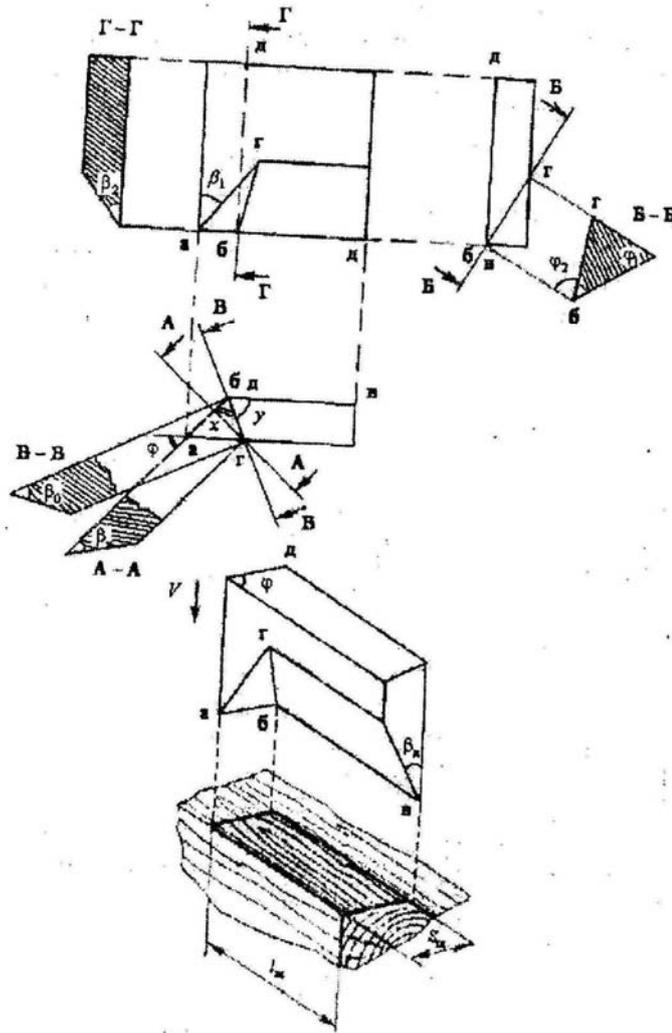


Рисунок 2 – Линейные и угловые параметры реза:

$аб$  - короткая режущая кромка;  $бв$  - длинная режущая кромка;  $\beta_k$  - угол заточки при кромке  $аб$ ;  $\beta_d$  - угол заточки при кромке  $бв$ ;  $\varphi$  - угол среза торца щепы;  
 $V$  - направление вектора скорости резания

При помощи метода проекций углов на плоскость установим теперь связи между перечисленными углами [4].

$$tg\beta_k = tg\beta_1 \cos(90 - \varphi) = \frac{tg\beta_k}{\sin \varphi} \quad (12)$$

$$tg\beta_2 = \frac{tg\beta_k}{\cos \varphi} \quad (13)$$

$$tg\beta_0 = \frac{tg\beta_k}{\sin x} \quad (14)$$

$$\text{Отсюда видно, что } \varphi + x + y = 180^\circ. \quad (15)$$

Определим вспомогательные углы из (14) и (15):

$$tgx = \frac{tg\beta_k \sin \varphi}{tg\beta_d - \cos \varphi \cdot tg\beta_k} \quad (16)$$

$$tgy = \frac{tg\beta_{д} \sin \varphi}{tg\beta_{к} - \cos \varphi \cdot tg\beta_{д}} \quad (17)$$

Аналогично определяются и конструктивные углы из (13) и (14):

$$tg\varphi_1 = \frac{tg\varphi}{\sin \beta_{д}} \quad (18)$$

$$tg\varphi_2 = \frac{\sin \varphi}{(tg\beta_{к} - tg\beta_{д} \cos \varphi) \cos \beta_{д}} \quad (19)$$

Основными углами, характеризующими резец, являются угол заточки при короткой кромке  $\beta_{к}$ , угол заточки при длинной кромке  $\beta_{д}$  и угол среза торца щепы  $\varphi$ .

Проведем анализ полученных зависимостей.

1)  $\beta_{к} = \beta_{д}$ . Это условие, когда углы заточки при короткой и длинной режущих кромках равны.

2)  $y = 90^\circ$ . Это отражает условие, которое показывает преобладание поперечного резания, и стружка свободно сходит по передней грани длинной режущей кромки.

Из уравнения (17) следует, что

$$tg\beta_{к} = \cos \varphi \cdot tg\beta_{д}, \quad (20)$$

т.е.  $\beta_{к} = \beta_{д}$ . С уменьшением угла  $\varphi$  ближе по величине становятся  $\beta_{к}$  и  $\beta_{д}$ . Подставив (20) в (19), получим

$$tg\varphi_2 = \frac{\sin \varphi}{(\cos \varphi \cdot tg\beta_{д} - tg\beta_{д} \cos \varphi) \cos \beta_{д}} \quad (21)$$

Следовательно,  $\varphi_2 = 90^\circ$ .

Из (15) получим  $x = 90 - \varphi$ , что после подстановки в (16) дает

$$tgx = \frac{tg\beta_{д} - \cos \varphi \cdot tg\beta_{к}}{tg\beta_{к} \sin \varphi} \quad (22)$$

Аналогичным образом из (14) получим

$$tg\beta_0 = \frac{tg\beta_{к}}{\cos \varphi} = tg\beta_2. \quad (23)$$

3)  $x = 90^\circ$ . Это отражает условие, когда стружка, срезанная под углом  $\varphi$  к волокнам, будет сходиться по передней грани короткой кромки.

Из (14) имеем  $\beta_0 = \beta_{к}$ ; из (16)  $tg\beta_{д} = \cos \varphi \cdot tg\beta_{к}$ , т.е.  $\beta_{к} > \beta_{д}$ .

4) При уменьшении угла скоса торца щепы  $\varphi$ , при равных прочих условиях, углы  $\beta_1\varphi_2$  увеличиваются, а углы  $\beta_2\beta_0$  уменьшаются.

**Заключение.** Анализируя полученные теоретическим путем аналитические зависимости, можно сделать соответствующие выводы. Углы заострения резца  $\beta_{к}$  и  $\beta_{д}$  нельзя изменять независимо друг от друга, т. к. они взаимозависимы. Короткая и длинная режущие кромки являются стружкообразующими. Режущие возможности резца и качество щепы будут выше при уменьшении углов заточки  $\beta_{к}$  и  $\beta_{д}$ . Ограничивающим фактором будет стойкость резца. Практически  $\beta_{д} = \beta_{к} = 40^\circ$ . Углы резания при короткой и длинной режущих кромках будут больше на 2-3 градуса за счет задних углов. При уменьшении

угла среза торца щепы до  $30^\circ$  углы  $\beta_k$  и  $\beta_d$  приблизительно равны по величине.

Как видим, полученные аналитические зависимости устанавливают связь между толщиной  $S_{щ}$ , длиной  $l_{щ}$  щепы и угловыми параметрами элементов резца. Эти основные параметры влияют на силовые показатели процесса резания, качество получаемой щепы и бруса, дают возможность связать параметры резца с параметрами технологической щепы, бревна, бруса, а также являются исходными при проектировании спиральных фрез, фрезерно-брусующих станков – основой расчета режимов резания на данном типе оборудования, подготовки и последующего проведения экспериментальных исследований.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Механическая технология древесины / Под ред. Н. А. Ватина. – Мн.: Вышэйшая школа, 1979. – Вып. 9. – 164 с.
2. Механическая технология древесины / Под ред. Н. А. Ватина. – Мн.: Вышэйшая школа, 1985. – Вып. 9. – 144 с.
3. Микулинский В. И. О проекции углов на плоскость. – В кн.: Вопросы резания, надежности и долговечности дереворежущих инструментов и машин. – Л.: ЛТА, 1983.
4. Станки и инструменты деревообрабатывающих производств: Межвуз. сб. науч. тр. – Л.: ЛТА, 1986. – 136 с.

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕЧЕНИЯ ЖИДКОСТИ В ЦЕНТРОБЕЖНЫХ НАСОСАХ

**Соколов Е.В.** (УГЛТУ, Екатеринбург, РФ) [sokolov\\_ev.art@mail.ru](mailto:sokolov_ev.art@mail.ru)  
**Анкудинов Д.Т.** (УГГТУ, Екатеринбург, РФ)

### **MODELING FLOWING FLUID IN THE CENTRIFUGAL PUMPS**

За последние годы лесопромышленный комплекс (ЛК) России существенно изменился. Круг вопросов, который активно обсуждается специалистами отрасли касается: технологий, оборудования, экологии. Основой задачей предприятий деревообрабатывающей, целлюлозно-бумажной и других промышленности ЛК России является увеличение выпуска высококачественной продукции. Это достигается применением новых эффективных технологий, что позволяет сертифицировать выпускаемую продукцию в соответствии с требованиями международных стандартов.

Истощение природных запасов и рост цен на энергоносители потребует создания более эффективных технологий, машин и оборудования. Поэтому проектные организации, осуществляющие разработку технологических линий, все больше уделяют внимания вопросу энергосбережения, безопасности и экологии. Эти требования предъявляют к агрегатам от непрерывной работы которых, зависит объем и качество выпускаемой продукции. К энергопотребляющему оборудованию относятся насосные системы, использующие электрическую энергию для создания потока жидкой среды. Насосы применяют там, где требуется подавать вещество в жидком состоянии: клеи, растворы,