

Таратин В.В.,
канд. техн. наук, доцент
Северный (Арктический)
федеральный университет
имени
М. В. Ломоносова, Россия

АНАЛИЗ РЕЖИМОВ ПРОДОЛЬНОГО ЦИЛИНДРИЧЕСКОГО ФРЕЗЕРОВАНИЯ И ИХ ВЛИЯНИЕ НА КАЧЕСТВО ПРОДУКЦИИ ЛЕСОПИЛЬНЫХ АГРЕГАТОВ

Получены аналитические зависимости и выполнена оценка влияния режимных параметров на фактические и номинальные динамические углы резания лесопильных агрегатов, а также на угол среза технологической щепы. Выполнена оценка влияния режимных параметров на качество продукции.

Ключевые слова: лесопильные агрегаты, цилиндрические фрезы, углы резания, угол среза технологической щепы.

Analytical relations allowing to estimate the character of condition parameters on the actual and data-sheet dynamic cutting angles sawmill aggregates (Chip-N-Saw) machine, as well as on angle of the cut wood chips has been obtained. The influence of condition parameters on quality product of sawmill aggregates machine has been obtained.

Keywords: sawmill aggregates, cylindrical milling cutters, cutting angles, angle of the cut wood chips.

Участник конференции
Национального первенства
по научной аналитике
Открытого Европейско-
Азиатского
первенства
по научной аналитике

Важной задачей совершенствования конструкции лесопильных агрегатов и инструмента является обоснованный выбор режимных параметров переработки брёвен и брусев при продольном цилиндрическом фрезеровании с учётом параметров обрабатываемого сырья, его физико-механических свойств, требований к качеству продукции. Исходя из этого, определяются режимы переработки, включая кинематические параметры резания (скорости резания V и подачи U), взаимное расположение инструмента и предмета переработки (кинематические углы встречи Q – углы между векторами скоростей резания и подачи), параметры конструкции фрез. К этим параметрам относятся: диаметры (радиусы) резания D (R); рабочая ширина фрез h_r ; угол резания в основной секущей плоскости фрезы (в плоскости движения, перпендикулярной оси вращения фрезы) δ_s ; угол разворота главной режущей кромки резца относительно оси вращения фрезы λ и некоторые другие (углы заострения кромок, углы резания боковых кромки резца и т. д.).

Для получения качественных пиломатериалов на лесопильных агрегатах особенно тонких боковых досок, разнотолщинность которых не должна превышать ± 1 мм, очень важным является исключение ненормированной подачи обрабатываемого материала на фрезы и пиковых значений силы резания, вызывающих в ряде случаев перебазирование бревен и брусев при

обработке на фрезернопильном оборудовании.

Для исключения ненормированной подачи обрабатываемого материала на фрезы автором предложены ресурсосберегающие торцово-конические (конические) фрезы (патент РФ № 1782732 [1]) с литыми профилируемыми корпусами.

Переходы корпусов фрез между резцами оформлены по криволинейным поверхностям по спирали Архимеда

$$\rho = R - U_z \sin Q Z^1 w, \quad (1)$$

где ρ – текущий радиус-вектор спирали Архимеда, мм;

R – радиус резания фрезы в плоскости движения, мм;

U_z – подача на резец фрезы, мм;

Q – кинематический угол встречи, град,

w – текущий угол поворота фрезы, град;

Z^1 – число резцов в одном ряду.

Указанное техническое решение по зависимости (1) целесообразно использовать и в конструкции цилиндрических фрез лесопильных агрегатов. Оно исключит надёргивание перерабатываемого материала на инструмент при больших пиковых силах резания (например, переработка мёрзлой древесины), снизит неравномерность силы резания при работе инструмента, что положительным образом скажется на качестве пиломатериалов и технологической щепы.

Для обеспечения требуемой стан-

дартм шероховатости пиломатериалов, вырабатываемых на лесопильных агрегатах, они оснащаются трёхкромочными резцами (с главной режущей кромкой параллельной оси вращения фрезы и двумя боковыми кромками, находящимися в плоскости движения фрезы), формирующими поверхности пиломатериалов. При применении прорезных цилиндрических фрез, формирующих пласти брусев (для выработки пиломатериалов по ГОСТ 26002-83Э), их целесообразно оснащать специальными прорезными или зачистными пильными дисками по патенту РФ № 1159777 [2].

Инструмент в этом случае становится комбинированным. Пильные диски, установленные на торцах фрез в отличие от обычных круглых пил, установленных в делительных узлах ФПО, работают в условиях не закрытого, а полузакрытого (менее энергозатратного) резания. Кроме этого значительно повышается их устойчивость за счет крепления пильных дисков к корпусу фрезы. Поэтому снимаются ограничения по выбору кинематических параметров инструмента (скоростей U и V) по условию устойчивости пил. Остаются лишь ограничения на скорость подачи по условию работоспособности пил, допустимого уровня шероховатости поверхности пиломатериалов и установленной мощности электродвигателя механизма резания, которые рассчитываются, например, согласно методическим положениям

Ю.М. Стахива [3].

Геометрические параметры технологической щепы для ЦБП: длина щепы $l_{щ}$, угол среза щепы $\varphi_{щ}$, а также ее однородность по размерам (фракционный состав) регламентируются ГОСТ 15815-83 «Щепа технологическая. Технические условия».

Длина щепы $l_{щ}$, мм, определяется по зависимости

$$l_{щ} = U_z = 10^3 U n Z^I, \quad (2)$$

где n - частота вращения фрез, мин⁻¹.

Однородность щепы зависит от постоянства ее длины $l_{щ}$, толщины $t_{щ}$ и ширины $b_{щ}$.

Параметры $t_{щ}$, $b_{щ}$ зависят от физико-механических свойств древесины, скоростей V и U , углов Q , δ_c , λ , толщины снимаемого слоя, угловых параметров процесса резания, состояния режущих кромок резцов и т.д., поэтому их значения определяются эмпирическим путем на стадии лабораторных исследований и испытаний опытных образцов инструмента и оборудования [9].

Угол среза щепы для ЦБП $\varphi_{щ}$ по стандарту должен быть от 30 до 60° и зависит от конструктивных параметров δ_c , λ , Q [4]. Угол $\varphi_{щ}$ - это угол между направляющим вектором C , совпадающим с направлением волокон древесины

(рис. 1), и его проекцией на срез щепы (в качестве допущения за срез щепы принимали плоскость). Следовательно, по расчетной схеме угол $\varphi_{щ}$ определяли через угол между нормалью к плоскости резания (плоскость среза щепы) N и вектором C , который равен $90^\circ - \varphi_{щ}$.

Важной задачей совершенствования конструкции цилиндрических фрез лесопильных агрегатов является обоснованный выбор их угловых параметров и рациональных значений углов резания резцов фрез в плоскостях нормальных к режущим крокам с учетом траектории относительного движения резца в обрабатываемом материале. Такие углы ре-

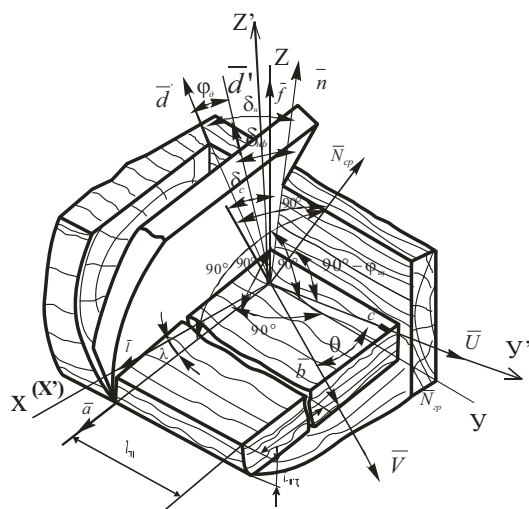


Рис.1. Расчётная схема для определения зависимостей $\delta_{нф}$, $\delta_{н}$, $\varphi_{щ}$ от параметров U , V , Q , δ_c , λ .

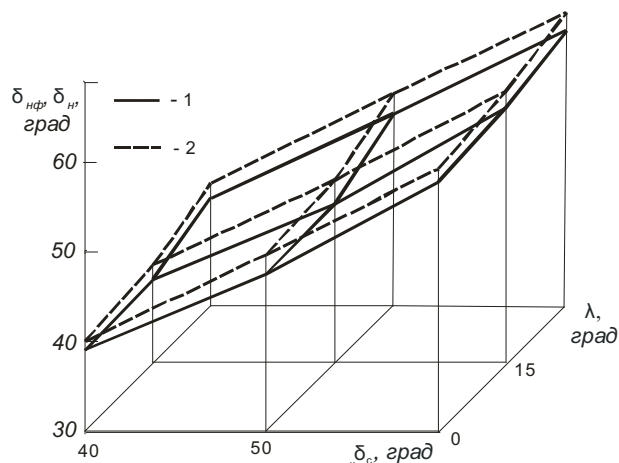


Рис.2. Зависимости $\delta_{нф}$ и $\delta_{н}$ от δ_c и λ при $U = 50$ м/мин, $V = 25$ м/с: 1 - $\delta_{нф}$ от U , V , Q , δ_c , λ ; 2 - $\delta_{н}$ от δ_c , λ .

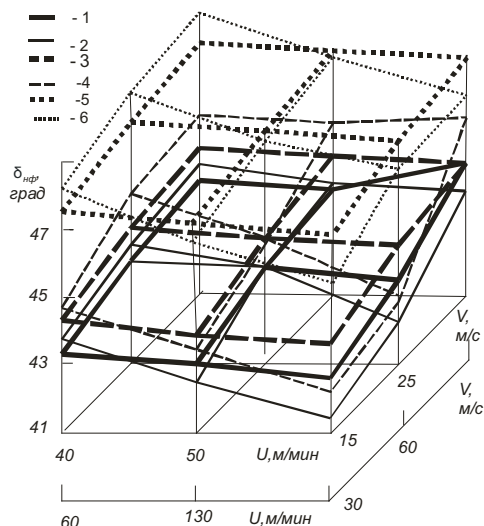


Рис.3. Зависимости $\delta_{нф}$ от U и V при $\delta_c = 45^\circ$, $Q = 40^\circ$: 1 - $\lambda = 0^\circ$, $40 \leq U \leq 60$ (м/мин), $15 \leq V \leq 35$ (м/с); 2 - $\lambda = 0^\circ$, $60 \leq U \leq 200$ (м/мин), $30 \leq V \leq 90$ (м/с); 3 - $\lambda = 15^\circ$, $40 \leq U \leq 60$ (м/мин), $15 \leq V \leq 35$ (м/с); 4 - $\lambda = 15^\circ$, $60 \leq U \leq 200$ (м/мин), $30 \leq V \leq 90$ (м/с); 5 - $\lambda = 30^\circ$, $40 \leq U \leq 60$ (м/мин), $15 \leq V \leq 35$ (м/с); 6 - $\lambda = 30^\circ$, $60 \leq U \leq 200$ (м/мин), $30 \leq V \leq 90$ (м/с).

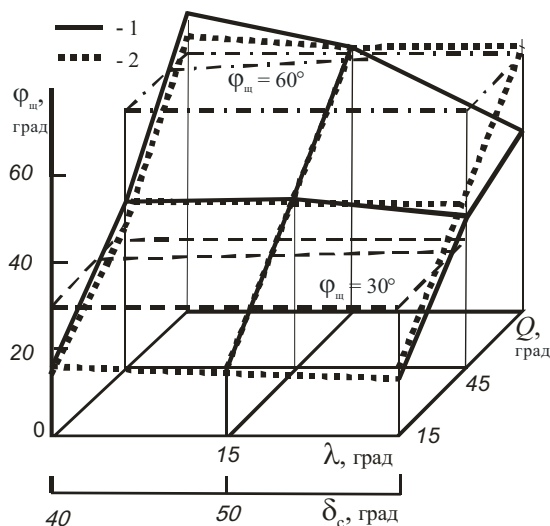


Рис.4. Зависимости угла среза щепы $\varphi_{щ}$ от параметров: 1 - $\varphi_{щ}$ от δ_c и Q при $\lambda = 15^\circ$; 2 - $\varphi_{щ}$ от λ и Q при $\delta_c = 50^\circ$.

зания в плоскостях нормальных к режущим кромкам, определяют направление нормальных давлений [5]. Они служат факторами, влияющими на показатели стойкости инструмента в зависимости от выбранных углов заострения резцов, а также на показатели качества обрабатываемой поверхности бревна или бруса и на степень деформации торцовых кромок срезаемой щепы в зависимости от задних углов резцов.

Методические положения по определению зависимости номинального динамического δ_n и фактического динамического $\delta_{нф}$ углов резания соответственно от параметров угла резания в основной секущей плоскости δ_c , угла разворота лезвия относительно оси вращения фрезы λ и от $U, V, Q, \delta_c, \lambda$ были рассмотрены ранее [6].

Представим математически методику определения зависимости угла среза щепы $\varphi_{щ}$ от параметров δ_c, λ, Q .

Координаты нормали к плоскости резания в статике (плоскости среза щепы) N_{cp} с учётом преобразования координат векторов и из вспомогательной системы - $X'Y'Z'$ в основную систему координат XYZ :

$$N_{cp} \{A_{cp}, B_{cp}, C_{cp}\} = \bar{a} \times \bar{b} = \begin{vmatrix} \bar{i} & \bar{j} & \bar{k} \\ l_1 & 0 & n_1 \\ 0 & m_2 & n_2 \end{vmatrix} = m_2 n_1 \bar{i} + l_1 n_2 \bar{j} + l_1 m_2 \bar{k} = \begin{vmatrix} \bar{i} & \bar{j} & \bar{k} \\ (\cos \lambda - \sin \lambda) \cos(Q + \delta_c) - \sin \lambda & 0 & \sin \lambda \\ 0 & \cos Q & -\sin Q \end{vmatrix} = [-\sin \lambda \cos(Q + \delta_c) + \cos Q \sin \lambda \sin(Q + \delta_c)] \bar{i} + \sin Q (\cos \lambda - \sin \lambda) \bar{j} + \cos Q (\cos \lambda - \sin \lambda) \bar{k}$$

Зависимость угла среза щепы $\varphi_{щ}$ от координат N_{cp} :

$$\varphi_{щ} = \arcsin \left[\frac{B_{cp} (A_{cp}^2 + B_{cp}^2 + C_{cp}^2)^{0.5}}{C_{cp}^2} \right]$$

После N_{cp} подстановки координат $\{A_{cp}, B_{cp}, C_{cp}\}$ и математических преобразований в окончательном виде зависимость $\varphi_{щ}$ от δ_c, λ, Q пред-

ставлена следующим выражением:

$$\varphi_{щ} = \arcsin \left\{ \frac{\sin Q (\cos \lambda - \sin \lambda) \cos(Q + \delta_c) - \cos Q \sin \lambda \sin(Q + \delta_c)}{(\cos \lambda - \sin \lambda)^2} \right\} \quad (3)$$

Результаты определения углов резания δ_n и $\delta_{нф}$ соответственно от параметров δ_c, λ и от U, V, Q, δ_c , и угла среза щепы $\varphi_{щ}$ от параметров δ_c, λ, Q по зависимости (3) представлены на рис. 2 - 4. В качестве центральных и граничных значений диапазонов изменения углов δ_c и Q , а для диапазонов V и U соответственно $15 \leq V \leq 30$ (м/с) и $40 \leq U \leq 60$ (м/мин) взяты рекомендуемые значения этих параметров [7-12]. Для параметров V и U (рис. 3) соответственно диапазоны $30 \leq V \leq 90$ (м/с) и $60 \leq U \leq 200$ (м/мин) приняты исходя из возможных по техническим характеристикам значений без учёта качественных показателей продукции. Центральное значение угла λ принято равным 15° , что соответствует рекомендуемой величине угла для формирования цилиндрическими фрезами ступенчатого двухкантного бруса и его горизонтальной поверхности. Граничное значение $\lambda = 30^\circ$ соответствует рекомендуемому значению угла для формирования боковых пластей четырёхкантного бруса [4,111].

Увеличение угла резания в основной секущей плоскости δ_c и угла разворота главной режущей кромки резца λ (рис. 2) ведёт к возрастанию номинального и фактического динамических углов резания δ_n и $\delta_{нф}$. Эти зависимости носят линейный характер при $\delta_c = 50^\circ, 60^\circ$ и увеличении угла λ в диапазоне $0...30^\circ$ или при $\delta_c = 40^\circ$ - слегка выраженный криволинейный характер. Наибольшее влияние на δ_n и $\delta_{нф}$ оказывает угол δ_c . Так в диапазоне δ_c от 40° до 60° при $\lambda = 0^\circ$ угол δ_n увеличивается на 50,0 %, при $\lambda = 30^\circ$ - на 44,1 %. Влияние угла λ на δ_n и $\delta_{нф}$ несколько меньше, чем угла δ_c , но также значительное. В диапазоне λ от 0° до 30° при $\delta_c = 40^\circ$ угол δ_n увеличивается на 10,3 %, а при $\delta_c = 60^\circ$ - на 5,67 %.

Изменение режимных параметров процесса фрезерования - скоростей подачи U и резания V , а также кинематического угла встречи Q не столь значительно сказывается на фактиче-

ском динамическом угле резания $\delta_{нф}$, как δ_c, λ на δ_n и $\delta_{нф}$ (рис. 3). При постоянных значениях $\delta_c = 45^\circ, \lambda = 0^\circ$ это влияние характеризуется следующим образом. В диапазоне U от 40 до 60 м/мин при $V = 15$ м/с (рис. 3, зависимости 1, 3, 5) угол $\delta_{нф}$ уменьшается на 1,84 %, а при $V = 35$ м/с - на 0,90 %. В диапазоне V от 15 до 35 м/с при $U = 40$ м/мин угол $\delta_{нф}$ увеличивается на 2,07 %, а при $U = 60$ м/мин - на 3,05 %. В диапазонах U от 60 до 200 м/мин и V от 30 до 90 м/с (рис.3. зависимости 2, 4, 6) характер зависимостей существенно не меняется, угол $\delta_{нф}$ изменяется в пределах 2 - 4 %.

Приведенные результаты расчетов и анализ конструкций цилиндрических фрез показывают, что углы заострения резцов фрез не должны превышать 38 - 40°, чтобы избежать отрицательного влияния на процесс фрезерования и режущий инструмент фактического заднего угла резания, величина которого должна быть не менее 2,5 - 4,0°.

Результаты вычислений по зависимости (3) показали (рис. 4), что наибольшее влияние на показатель $\varphi_{щ}$ оказывает кинематический угол встречи Q . В диапазонах углов Q от 15° до 75° этот оценочный показатель увеличивается от 3,77 раза при $\lambda = 15^\circ$, до 4,62 раза при $\lambda = 30^\circ$, причем эта зависимость имеет в основном линейный характер, но с увеличением λ приобретает слегка выраженный криволинейный характер. Углы δ_c и λ оказывают значительно меньшее влияние на $\varphi_{щ}$, чем кинематический угол встречи Q . Так, в диапазоне δ_c от 40° до 60° угол $\varphi_{щ}$ уменьшается на 2,16 % при $Q = 15^\circ, \lambda = 15^\circ$ и на 3,35 % при $Q = 60^\circ, \lambda = 15^\circ$; в диапазоне λ от 0° до 15° - на 4,48 %; в диапазоне λ от 15° до 30° при $Q = 45^\circ, \delta_c = 50^\circ$ - на 20,2 %.

Допустимые значения угла $\varphi_{щ}$ принимает в следующих диапазонах Q : от 30° до 60° при $\lambda = 0^\circ, \delta_c = 50^\circ$; от $35,9^\circ$ до $64,5^\circ$ при $\lambda = 15^\circ, \delta_c = 50^\circ$; от $37,5^\circ$ до $75,0^\circ$ при $\lambda = 15^\circ, \delta_c = 60^\circ$.

Результаты расчётов по формуле (3) полностью соответствуют значениям угла $\varphi_{щ}$ по номограмме [7] на основании опытных замеров углов на пласти φ_n и кромке φ_k щепы.

Приведённая методика и полученные зависимости позволяют аналитически

определять влияние режимных параметров: кинематики (скоростей резания и подачи), взаимного расположения инструмента и предмета переработки (кинематических углов встречи), исходных угловых параметров резцов цилиндрических фрез на фактические и номинальные динамические углы резания процесса продольного цилиндрического фрезерования лесопильных агрегатов и на угол среза технологической щепы. Эти уравнения могут быть использованы как составляющие системы зависимостей для совершенствования фрезерного инструмента агрегатного лесопильного оборудования, а также нахождения оптимальных значений его параметров.

Литература:

1. Пат. 1782732 Российская Федерация, МПК4 В27, G13/02, 13/04. Торцово-коническая малоножевая фреза [Текст] / В.В. Таратин, А.П. Тарутин; заявитель и патентообладатель Центральный науч.-исслед. ин-т механ. обраб. дрв. - № 4840963/15; заявл. 23.12.90; опубл. 23.12.92, Бюл. № 47. - 47 с.
2. Пат. 1159777 Российская Федерация, МПК4 В27, В33/08. Комбинированный инструмент [Текст] / В.В. Таратин, А.П. Тарутин, С.А. Маточкин, МП. Авксентьев; заявитель и патентообладатель Центральный науч.-исслед. ин-т механ. обраб. дрв. - № 3572772/29-15; заявл. 04.04.83; опубл. 07.06.85, Бюл. № 21. - 32 с.

3. Стахийев, Ю.М. Работоспособность плоских круглых пил [Текст] / Ю.М. Стахийев. - М., Лесн. пром-ть, 1989. - 384 с. Таратин, В.В. Влияние геометрических параметров фрезерного инструмента агрегатного оборудования на величину угла среза технологической щепы [Текст] / В.В. Таратин // Лесн. журн. - 1997. - № 3. - С. 64-69. (Изв. высш. учеб. заведений).

4. Таратин, В.В. Влияние геометрических параметров фрезерного инструмента агрегатного оборудования на величину угла среза технологической щепы [Текст] / В.В. Таратин // Лесн. журн. - 1997. - № 3. - С. 64-69. (Изв. высш. учеб. заведений).

5. Грубе, А.Э. Дереворежущие инструменты [Текст] / А.Э. Грубе. - М.: Лесная промышленность, 1971. - 334 с.

6. Таратин В.В. Определение кинематических и ряда других параметров на фактические углы резания цилиндрических фрез лесопильных агрегатов / В.В. Таратин // Space and time - coordinate system of human development: Materials digest of the VIII International Research and Practice Conference (Kiev, London, August 25 - September 1, 2011). Technical, physical and mathematical sciences / All - Ukrainian Academic Union of specialists for professional assessment of scientific research and pedagogical activity/ InPress. London, 2011. - P. 46-

50.

7. Боровиков, Е.М. Лесопиление на агрегатном оборудовании [Текст] / Е.М. Боровиков, Л.А. Фефилов, В.В., Шестаков. - М.: Лесная промышленность, 1985. - 216 с.

8. Таратин, В.В. Лесопильные агрегаты: современное состояние и тенденции их совершенствования [Текст] / В.В. Таратин // Деревообаб. пром-сть. - 1998. - №1. - С. 3-6.

9. Таратин, В.В. Применение системного подхода к исследованию разнотипных фрез лесопильных агрегатов [Текст] / В.В. Таратин // Деревообаб. пром-сть. - 1998. - №6. - С. 9-12.

10. Таратин, В.В. Определение фактических углов резания торцово-конических фрез агрегатного лесопильного оборудования [Текст] / В.В. Таратин // Лесн. журн. - 1995. - № 2-3. - С. 78-83. (Изв. высш. учеб. заведений).

11. Елькин, В.П. Повышение эффективности фрезернопильного оборудования на основе разработки конструкций цилиндрических фрез для получения технологической щепы [Текст]: автореф. дис. ... канд. техн. наук / В.П. Елькин, - Л., 1989. - 17 с.

12. Таратин, В.В. Обоснование скорости подачи фрезернопильного оборудования с учётом энергозатрат выработки продукции [Текст] / В.В. Таратин // Наука Северному региону: Сб. науч. тр. АГТУ, вып. 62 - Архангельск, АГТУ, 2005, С. 158 - 161.

