

**СИЛОВЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ ПРОЦЕССА ОБРАБОТКИ
ДРЕВЕСНОСТРУЖЕЧНЫХ ПЛИТ ОСЦИЛЛИРУЮЩИМ
КОНЦЕВЫМ ФРЕЗЕРНЫМ ИНСТРУМЕНТОМ**
*POWER DATES OF PROCESS OF MACHINING OF THE PLANE
WOOD-BASE MATERIALS BY MEANS OF THE VIBRATING END
MILLING INSTRUMENT*

Рассмотрим режущий элемент вращающейся с окружной скоростью V_o концевой фрезы, который совершает одновременно еще два независимых движения - движение подачи со скоростью U и возвратно-поступательное движение вдоль режущей кромки со скоростью V_{os} – скоростью осцилляции. На рисунке 1 показан резец в момент его движения вверх.

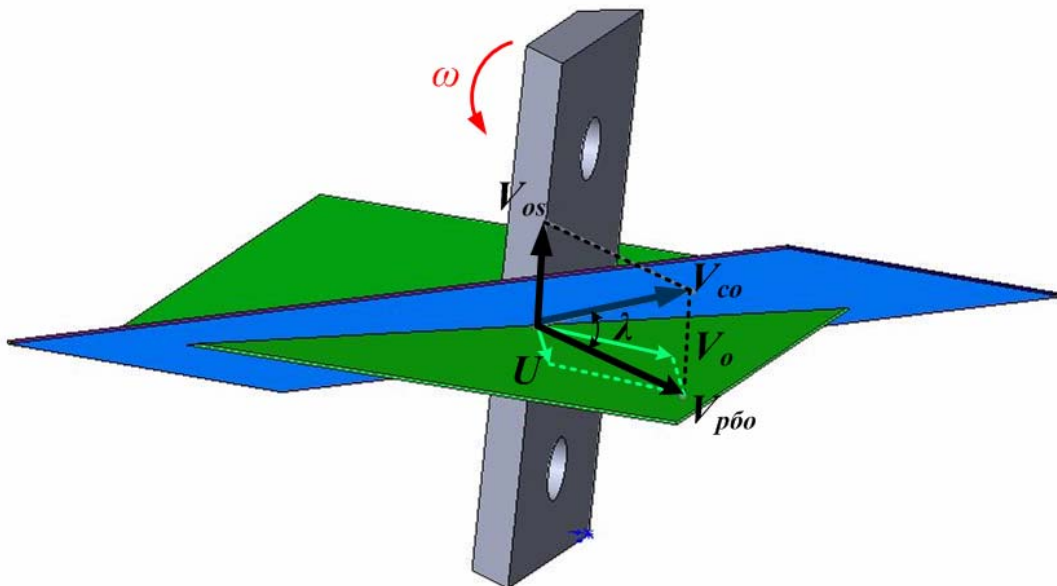


Рисунок 1 – Составляющие вектора результирующего движения осциллирующего резца концевой фрезы

Вектора скорости резания без осцилляции $V_{\rho o}$ и скорости осцилляции V_{os} расположены в вертикальной плоскости под углом движения λ друг к другу.

Векторная сумма окружной скорости и скорости подачи определяет скорость резания $V_{\rho o}$ при классической обработке без протягивания режущей кромки. При этом происходит трансформация угловых характеристик резца, замеренных в статической системе координат (без учета параметров главного движения и движения подачи) в горизонтальной плоскости на величину динамического угла μ , то есть в процессе движения концевой фрезы со скоростью $V_{\rho o}$ появляются кинематические углы резца, отличные от замеренных в статике (α_n, γ_n): задний $\alpha_k = \alpha_n - \mu$, передний $\gamma_k = \gamma_n + \mu$, угол резания $\delta_k = \alpha_k + \beta_k$ [1].

Зададим концевой фрезе перемещения в вертикальной плоскости по гармоническому закону:

$$z = z_{os} \cdot \cos(\omega \cdot t), \quad (1)$$

где z – текущая координата точки лезвия осциллирующей концевой фрезы, мм;
 z_{os} – амплитуда осцилляции концевой фрезы, мм;
 ω – циклическая скорость, c^{-1} ;
 t – момент времени, с.

Из рисунка 1 видно, что

$$\cos \lambda_k = \frac{V_{p\delta o}}{V_{pco}} = \frac{V_{p\delta o}}{\sqrt{V_{np}^2 + V_{p\delta o}^2}} \quad (2)$$

Для горизонтальной плоскости по теореме синусов:

$$V_{p\delta o} = \frac{U \cdot \sin \varphi}{\sin \mu} \quad (3)$$

Величина динамического угла μ , соответствующая углу поворота концевой фрезы φ :

$$\mu = \arctg \left(\frac{U \cdot \sin \varphi}{V_{ок} + U \cdot \cos \varphi} \right) \quad (4)$$

Анализируя уравнение (4), устанавливаем, что углам поворота $\varphi=0$ и $\varphi=180^\circ$ соответствует наименьшее значение динамического угла $\mu_{\min}=0$, а максимальное значение динамический угол μ достигает при $\varphi = 90^\circ$:

$$\mu_{\max} = \arctg \left(\frac{U}{V_{ок}} \right).$$

Среднее за оборот концевой фрезы значение динамического угла:

$$\mu_{cp} = \left(\int_{\varphi=0}^{\varphi=\frac{\pi}{2}} \arctg \left(\frac{U \cdot \sin \varphi}{V_{ок} + U \cdot \cos \varphi} \right) \right) / \frac{\pi}{2} = \arctg \left(\frac{2 \cdot U}{\pi \cdot V_{ок}} \right). \quad (5)$$

Скорость осцилляции вдоль режущей кромки в момент времени t :

$$V_{os} = \frac{dz}{dt} = z_{os} \cdot \omega \cdot \sin(\omega \cdot t). \quad (6)$$

Анализируя уравнение, устанавливаем, что в момент времени $t=0$, $V_{os}=0$, а максимальное значение скорость осцилляции $V_{os}=z_{os} \cdot \omega$ приобретает в момент времени $t = T_{ц}/4$.

Средняя за время цикла $T_{ц}=2 \cdot \pi$ скорость осцилляции концевой фрезы:

$$V_{os} = \frac{4 \cdot z_{os} \cdot \omega}{T_{ц}} = \frac{z_{os} \cdot N}{15}, \quad (7)$$

где N – число двойных ходов концевой фрезы в минуту, дв. х/мин.

В общем виде:

$$\begin{aligned} \operatorname{tg} \lambda &= \frac{V_{os} \cdot \sin(\varphi - \mu)}{V_{ок} \cdot \sin \varphi}; \\ \operatorname{tg} \lambda &= \frac{z \cdot \omega_{os} \cdot \sin(\omega_{os} \cdot t) \cdot \sin(\varphi - \arctg(\frac{U \cdot \sin \varphi}{V_{ок} + U \cdot \cos \varphi}))}{V_{ок} \cdot \sin \varphi}, \end{aligned} \quad (8)$$

где ω_{os} – циклическая частота осцилляции концевой фрезы.

Выражение для определения мгновенной величины динамического угла λ :

$$\lambda = \arctg \left[\frac{z \cdot \omega_{os} \cdot \sin(\omega_{os} \cdot t) \cdot \sin(\varphi - \arctg(\frac{U \cdot \sin \varphi}{V_{ок} + U \cdot \cos \varphi})}{V_{ок} \cdot \sin \varphi} \right]. \quad (9)$$

Или, через значения числа двойных ходов инструмента в минуту N (дв.х/мин) и частоты его вращения n (мин⁻¹):

$$\lambda = \arctg \left[\frac{\pi \cdot z \cdot N \cdot \sin(\frac{N}{n} \cdot \varphi) \cdot \sin(\varphi - \arctg(\frac{U \cdot \sin \varphi}{60 \cdot (V_{ок} + U \cdot \cos \varphi)})}{30 \cdot V_{ок} \cdot \sin \varphi} \right]. \quad (10)$$

Введем кинематическую систему координат, ориентированную относительно направления скорости резания без осцилляции (рис. 2).

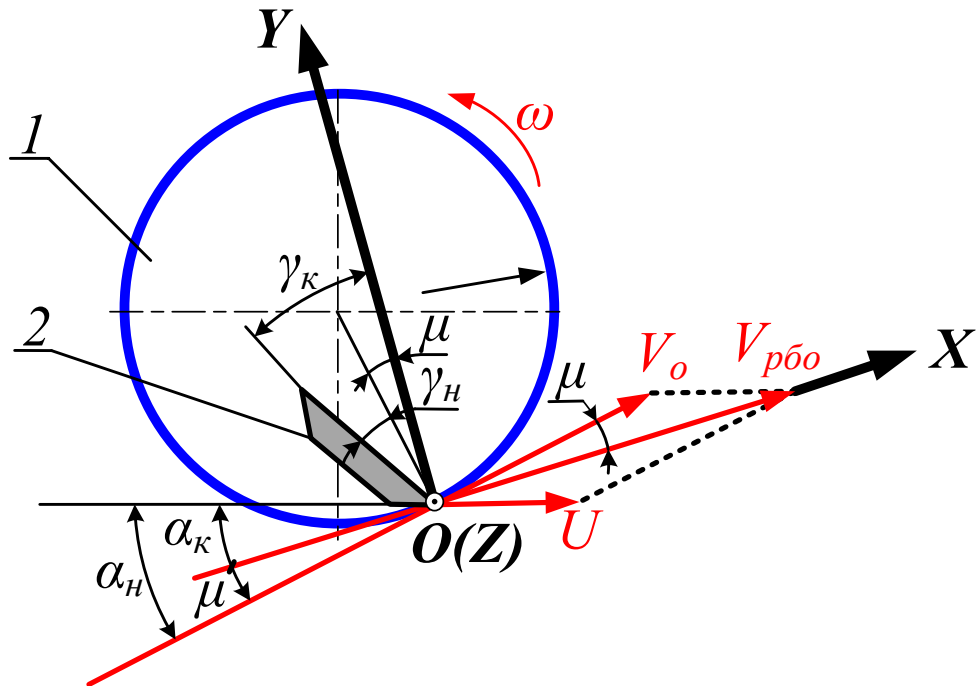


Рисунок 2 – Схема векторов скоростей вращающейся концевой фрезы

На рисунке 3 представлена схема сил, действующих на грани осциллирующего лезвия в процессе резания (проекция на горизонтальную плоскость проекций XY).

Согласно рис. 3, рассматривая силы трения по передней и задней граням лезвия в плоскости движения [2], записываем суммы проекций сил на оси координат.

$$\begin{aligned} \sum F_x = -F_K = F_{3x} - F_{тр.3x} - F_{тр.пх} - F_{пх} = F_3 \cdot \sin \alpha_K - F_3 \cdot \mu_{тр} \cdot \cos \alpha_\phi \cdot \cos \lambda - \\ - F_{п} \cdot \mu_{тр} \cdot \sin \gamma_\phi \cdot \cos \lambda - F_{п} \cdot \cos \gamma_K, \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Sigma F_y &= F_{zy} + F_{тр.зу} + F_{тр.пу} - F_{пу} = F_3 \cdot \cos \alpha_k + F_3 \cdot \mu_{тр} \cdot \sin \alpha_\phi \cdot \cos \lambda + \\ &+ F_\Pi \cdot \mu_{тр} \cdot \sin \gamma_\phi \cdot \cos \lambda - F_\Pi \cdot \sin \gamma_k, \\ \Sigma F_z &= F_{тр.з} \cdot \sin \lambda + F_{тр.п} \cdot \sin \lambda = (F_3 \cdot \mu_{трз} + F_\Pi \cdot \mu_{трп}) \cdot \sin \lambda, \end{aligned} \quad (11)$$

где α_ϕ , γ_ϕ – значения соответственно заднего и переднего углов лезвия относительно кинематической системы координат.

На рисунке 4 представлена трансформация угла резания в процессе осцилляции резца.

Из рисунка 4 видно, что $\delta_\phi = \arctg(\operatorname{tg} \delta_k \cdot \cos \lambda)$.

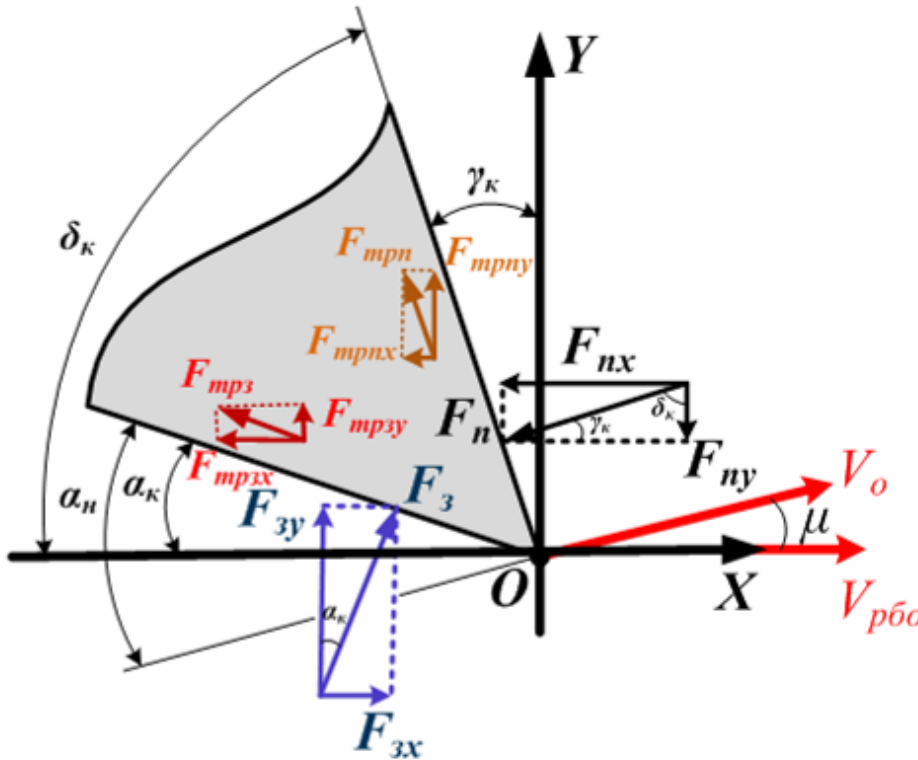


Рисунок 3 – Схема сил, действующих на грани осциллирующего лезвия в процессе резания

Аналогично, для заднего и переднего углов лезвия:

$$\alpha_\phi = \arctg(\operatorname{tg} \alpha_k \cdot \cos \lambda) = \arctg(\operatorname{tg}(\alpha_n - \mu) \cdot \cos \lambda),$$

$$\gamma_\phi = \arctg\left(\frac{\operatorname{tg} \gamma_k}{\cos \lambda}\right) = \arctg\left(\frac{\operatorname{tg}(\gamma_n + \mu)}{\cos \lambda}\right), \quad (12)$$

Из уравнений (11) видно, что наложение на классическую схему обработки концевым фрезерным инструментом дополнительного возвратно-поступательного движения вдоль лезвия обеспечивает сокращение касательной и радиальной составляющих усилия резания, что нашло экспериментальное подтверждение, при обработке ДСтП и фанеры.

Помимо выводов, сделанных по уравнениям (11), достоинства резания концевыми фрезами с осцилляцией подчеркивает рассмотрение процесса внедрения (проникновения) лезвия концевой фрезы в ДСтП.

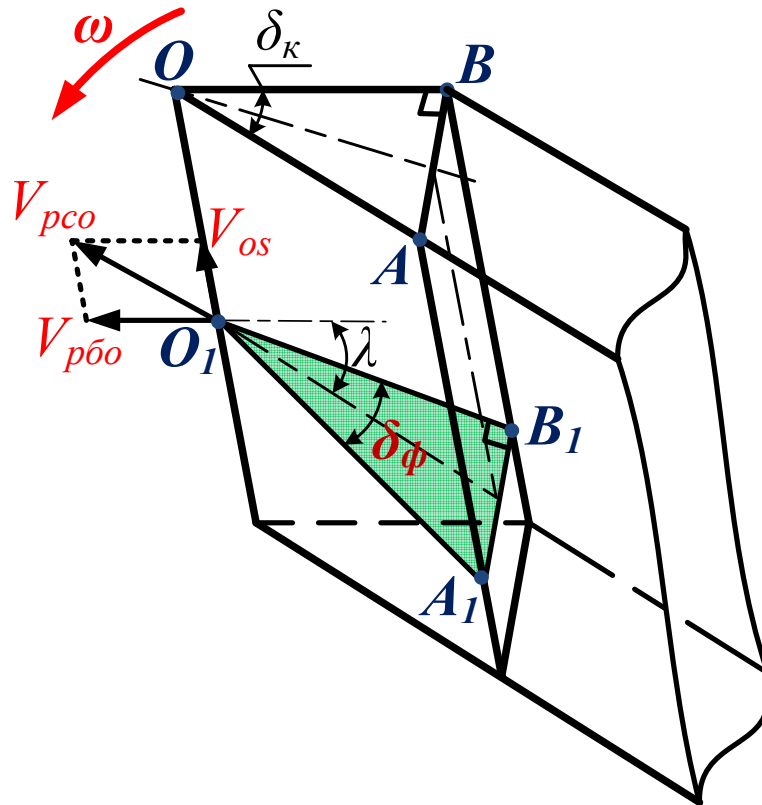


Рисунок 4 – Трансформация угла резания осциллирующего резца

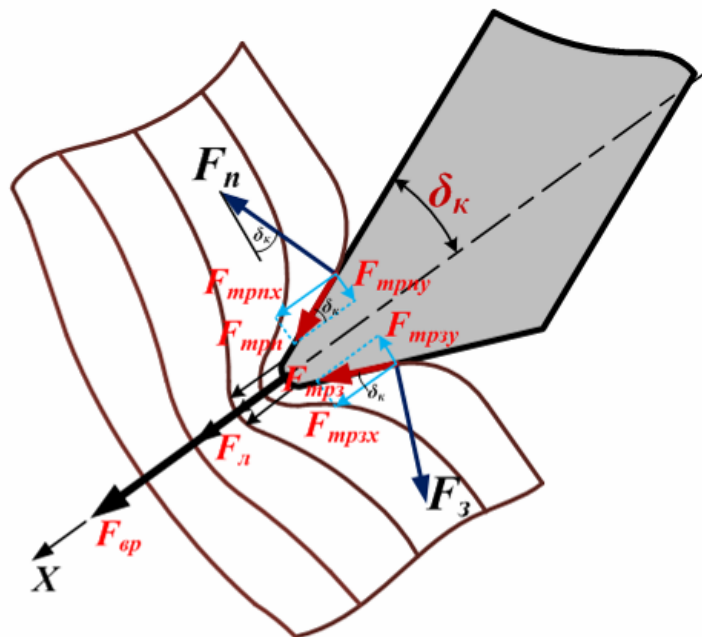


Рисунок 5 – Схема сил, действующих на лезвие концевой фрезы в процессе ее врезание в ДСтП

В связи с тем, что обработка концевыми фрезами характеризуется малыми скоростями резания, а так же предельностью остроты режущей кромки и структурной неоднородностью, пористостью ДСтП, в процессе резания волокна древесины (древесные частицы) не испытывают достаточного подпора, отгибаются, сминаются, далее начи-

нают контактировать с гранями лезвия, отгибаются и сминаются еще в большей степени. Перерезание волокон происходит после создания достаточного подпора.

На рисунке 5 представлена схема сил, действующих на лезвие концевой фрезы в процессе ее проникания в ДСтП.

Согласно рис. 5 усилие, необходимое для врезание в материал резца концевой фрезы при классической схеме обработки:

$$\begin{aligned} F_{вр} = \sum F_x &= F_{л} + F_{пх} + F_{зх} + F_{трпх} + F_{трзх} = \\ &= F_{л} + 2 \cdot F_{п} \cdot (\mu_{тр} \cdot \cos \delta_k + \sin \delta_k). \end{aligned} \quad (13)$$

На рисунке 6 представлена схема сил, действующих на обрабатываемый материал со стороны проникающего в него лезвия осциллирующей концевой фрезы.

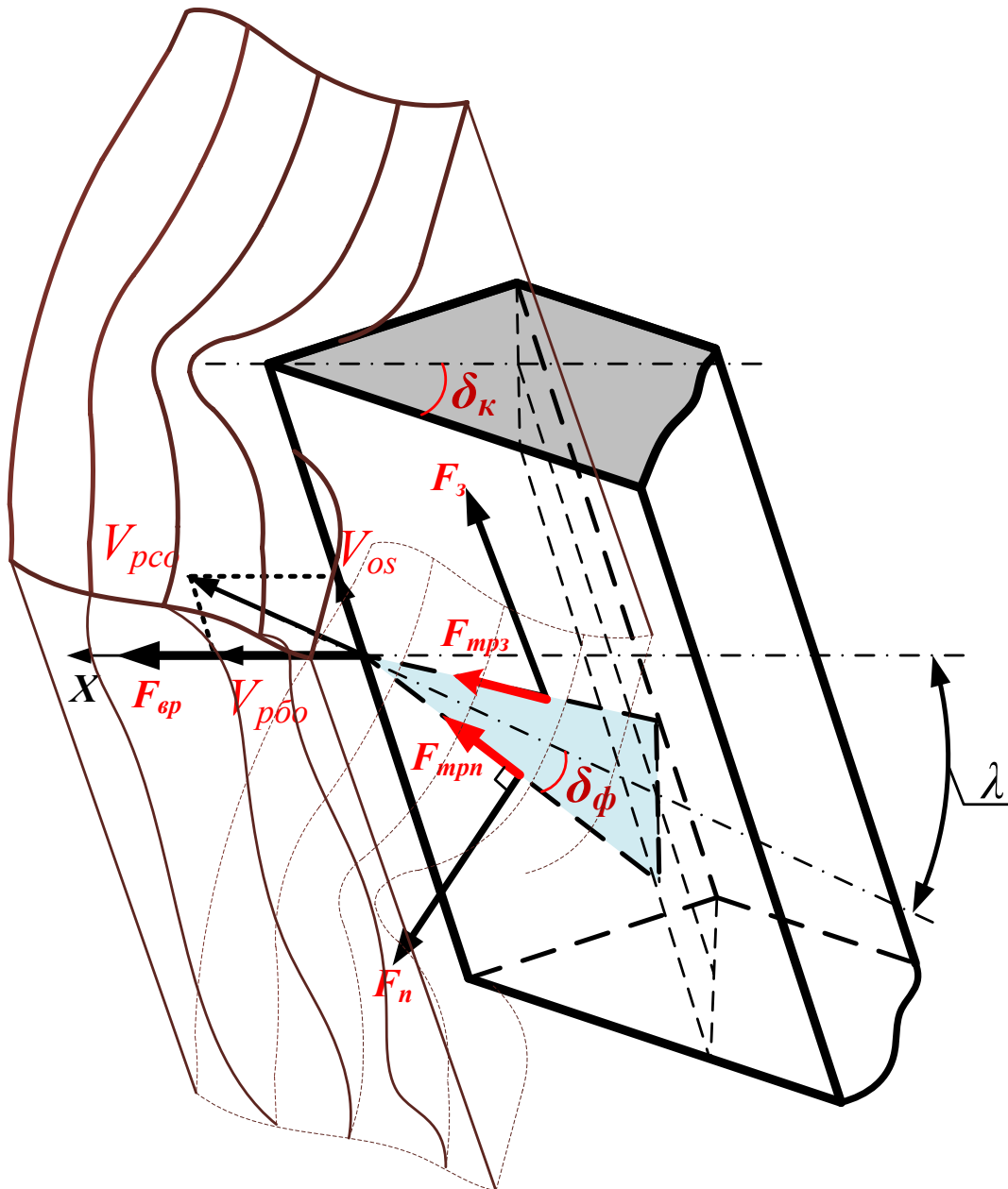


Рисунок 6 – Схема сил, действующих на обрабатываемый материал со стороны проникающего в него лезвия осциллирующей концевой фрезы

Согласно рис. 6 усилие, необходимое для врезание в материал резца осциллирующей концевой фрезы:

$$F_{вр} = F_{л} + 2 \cdot F_{п} \cdot (\mu_{тр} \cdot \cos \delta_{ф} \cdot \sin \lambda + \sin \delta_{к}). \quad (14)$$

Таким образом, можем сделать вывод о том, что горизонтальная составляющая усилия внедрения лезвия осциллирующей концевой фрезы в ДСтП уменьшается в связи с уменьшением горизонтальной составляющей силы трения поверхностей лезвия об обрабатываемый материал. При этом требуемое для разрушения волокон напряженное состояние достигается при меньших значениях внедрения лезвия в материал и силы резания.

Кроме вышеуказанного следует учитывать и наличие неровностей на режущей кромке, которые в процессе осциллирующих перемещений концевой фрезы обеспечивают эффект «подпиливания», что также сокращает усилие резания.

Согласно экспериментальным исследованиям, резание с осцилляцией концевой фрезерного инструмента сокращает энергозатраты на обработку ДСтП [5]. При этом повышается стойкость режущих элементов и полнота их использования.

Библиографический список

1. Ящерицын, П. И. Теория резания: учеб. / П. И. Ящерицын, Е. Э. Фельдштейн, М. А. Корниевич. – Мн.: Новое знание, 2005. – 512 с.
2. Бершадский, А. Л. Резание древесины / А. Л. Бершадский, Н. И. Цветкова. – Минск: Выш. школа, 1975. – 304 с.
3. Рудак, П. В. Силовые показатели процесса обработки плитных древесных материалов концевым фрезерным инструментом / П. В. Рудак // Труды БГТУ. Сер. II. Лесная и деревообаб. пром-сть. – 2009. – Вып. XVII.

Сафонов А.О. (ВГЛТА, г. Воронеж, РФ) safonov-dekan@yandex.ru

ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИЕ АДАПТИРУЕМЫЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПРОМЫШЛЕННЫМИ УСТАНОВКАМИ ДЛЯ ТЕПЛОЙ ОБРАБОТКИ ДРЕВЕСНЫХ МАТЕРИАЛОВ ENERGY SAVING ADAPTIVE SYSTEM IN MANAGEMENT OF PLANT EQUIPMENT FOR HEATING PROCESS OF WOOD MATERIALS

Создана энергосберегающая адаптируемая система многокритериального управления промышленными установками для тепловой обработки древесных и других дисперсных материалов, которая предусматривает контроль, регистрацию и управление всеми технологическими параметрами с помощью компьютера.

В качестве приборов контроля и регулирования в системе предусмотрен соответствующий комплекс средств автоматизации. Обозначение средств автоматизации в разработанной схеме и их наименование представлено в таблице 1.