

УДК 674.055:621.934(043.3)

**А. Ф. Аникеенко, А. А. Гришкевич, В. Н. Гаранин, А. С. Кукреш**  
Белорусский государственный технологический университет

### **ИССЛЕДОВАНИЯ ВЛИЯНИЯ ОСЕВОГО УГЛА И СКОРОСТИ ПОДАЧИ НА МОЩНОСТЬ РЕЗАНИЯ ПРИ ФРЕЗЕРОВАНИИ ДРЕВЕСНЫХ МАТЕРИАЛОВ**

В статье описываются особенности фрезерования древесины и древесных материалов фрезами с изменяемым осевым углом. Особенностью данного вида процесса является получение криволинейного профиля заготовки при использовании прямого ножа, что безусловно положительно скажется на себестоимости выпускаемой продукции, так как отпадает необходимость в применении дорогостоящих профильных ножей и значительно сокращается стоимость подготовки инструмента к работе.

Авторы провели теоретические и практические исследования влияния осевого угла и скорости подачи на мощность фрезерования.

Выполнен обзор научно-технической литературы по конструкциям сборных фрез для профильного и фасонного фрезерования.

Проведен теоретический расчет и экспериментальные расчеты мощностных показателей при обработке заготовок из массива при изменении осевого угла.

Составлены графические зависимости касательной составляющей силы резания и мощности от угла поворота.

Результаты исследования показали, что теоретические расчеты и практические, произведенные на лабораторной установке на базе промышленной модели четырехстороннего продольно-фрезерного станка, разнятся незначительно.

Эксперимент подтверждает, что угол поворота режущей кромки в плане влияет на касательную составляющую силы резания в сторону уменьшения.

**Ключевые слова:** фреза, элемент, угол поворота, угол наклона, осевой угол, мощность, касательная составляющая силы резания, установка, контроль.

**A. F. Anikeenko, A. A. Grishkevich, V. N. Garanin, A. S. Kukresh**  
Belarusian State Technological University

### **STUDY OF THE EFFECT OF AXIAL ANGLE AND FEED SPEED ON CUTTING POWER DURING MILLING OF WOOD MATERIALS**

The article describes the features of the milling of wood milling cutters with adjustable axial angle. A feature of this type of process is the obtaining of the curvilinear profile of the workpiece when using a straight knife, which certainly have a positive impact on the cost of production by eliminating the need to use expensive specialized knives and significantly reduces the cost of training the tool to work.

The authors conducted theoretical and practical research on the influence of the axial angle and feed rate on milling power.

A review of the scientific literature on designs of assorted cutters for profile and profile milling.

Theoretical calculation and experimental calculation of power factors during the machining of workpieces made of solid wood with the variation of the axial angle.

Composed graphical dependences of the tangential component of the cutting force and power on the angle of rotation.

The results of the study showed that theoretical calculations and practical, produced on the laboratory unit based on an industrial model quadrilateral longitudinally milling machine not differ significantly.

The experiment confirms that the angle of the cutting edge affects the tangent component of the cutting force downward.

**Key words:** the cutter element, the rotation angle, tilt angle, axial angle, power, tangential component of the cutting force, installation, control.

**Введение.** В настоящее время все более широкое распространение получают профильные погонажные изделия из натуральной древесины. Такие изделия активно используются как для внутренней, так и для наружной отделки жилых помещений.

В современной деревообрабатывающей промышленности производят профильный деревянный погонаж типа «блокхаус» путем фрезерования древесины сборными профильными фрезами. Использование профильных ножей обуславливает высокую себестоимость продукции

за счет значительных расходов на покупку дорогостоящих ножей, а также высокую стоимость заточки таких ножей.

Разработанные на кафедре деревообрабатывающих станков системы фрезерного инструмента с изменяемыми угловыми параметрами позволяют изменять осевой угол и тем самым получать прямыми ножами профильную поверхность (рис. 1).

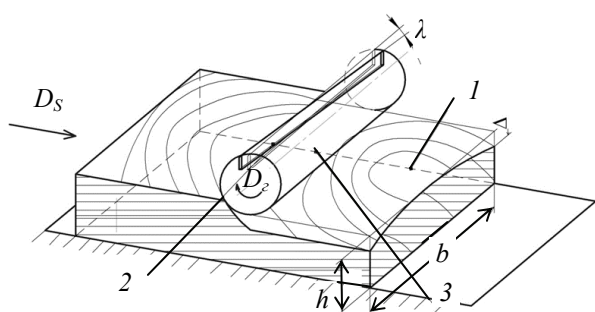


Рис. 1. Процесс получения профильной поверхности фрезами с изменяемым осевым углом:  
1 – заготовка; 2 – прямой нож; 3 – фреза

**Основная часть.** Основная задача данного исследования: выяснить возможна ли эксплуатация фрез с изменяемым осевым углом для получения профильной погонажной продукции, а также определить как влияет изменение угла и скорости подачи на энергетическую составляющую процесса резания, мощность и силу.

Для этого были проведены теоретические исследования, а также лабораторные испытания. Теоретические расчеты и экспериментальные исследования осуществлялись при следующих параметрах: заготовка – сосна, ширина – 25 мм, частота вращения инструмента  $n = 4000 \text{ мин}^{-1}$ , припуск – 2 мм, количество ножей – 1, угол передний –  $20^\circ$ . Изменение угла в плане проводилось в диапазоне  $\lambda = 0-30^\circ$  с градацией через  $10^\circ$ .

Используя классическую теорию резания профессора Бершадского А. Л. [1], был проведен расчет мощности и касательной силы резания при эксплуатации фрез с изменением осевого угла.

Результаты теоретических расчетов представлены на графиках 2–3, на которых видно, что с увеличением угла в плане снижается касательная составляющая силы резания, что ведет не только к увеличению срока службы инструмента, но и к снижению затрачиваемой мощности.

Проанализировав графические зависимости, делаем вывод, что при увеличении угла в плане составляющая силы резания, и в следствии мощности, уменьшаются, но незначительно.

Следующим этапом является проведение экспериментальных исследований.

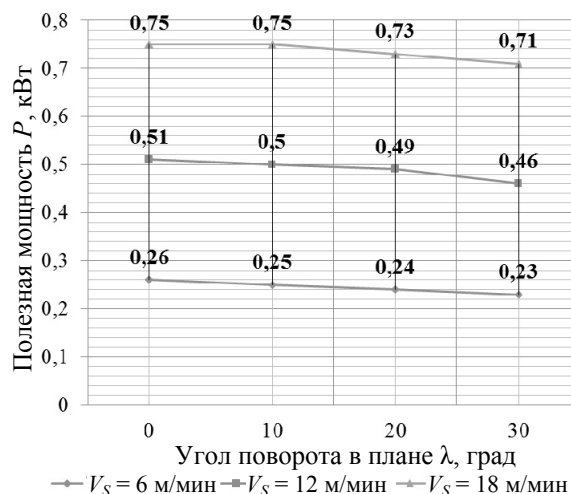


Рис. 2. Зависимость полезной мощности на резание от угла в плане при разных скоростях подачи

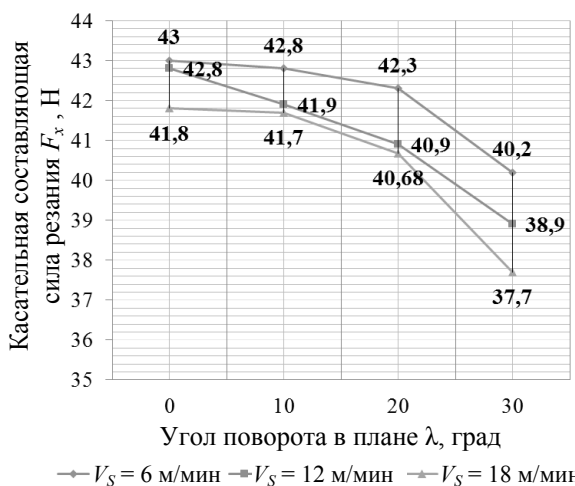


Рис. 3. Зависимость касательной силы резания от угла в плане при разных скоростях подачи

Для выполнения экспериментальных исследований используем экспериментальную установку на базе промышленной модели четырехстороннего продольно-фрезерного станка Unimat 23 EL. Особенностью данной установки является возможность изменять технологические режимы фрезерования древесины и изменять мощностные характеристики самого процесса фрезерования (рис. 4).

Измерение мощностных характеристик выполнялось с использованием программного обеспечения COMBIVIS5 путем снятия электрических параметров с частотного преобразователя электропривода управления механизмом резания станка.

Для проведения экспериментальных исследований применялась фреза, разработанная на кафедре деревообрабатывающих станков и инструментов. Перед каждым опытом ножи выставляются с помощью установки OptiControl на нужный угол, она продемонстрирована на рис. 5.

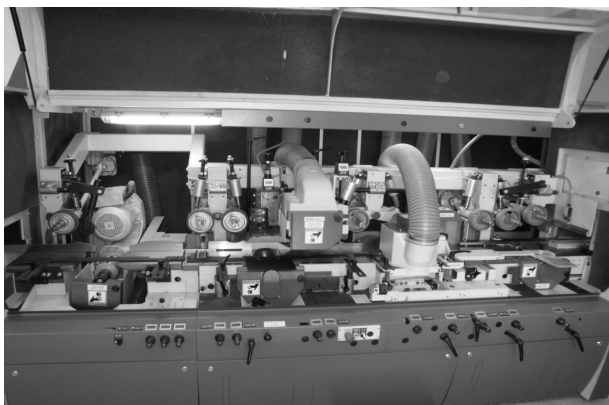


Рис. 4. Расположение механизмов станка Unimat 23 EL

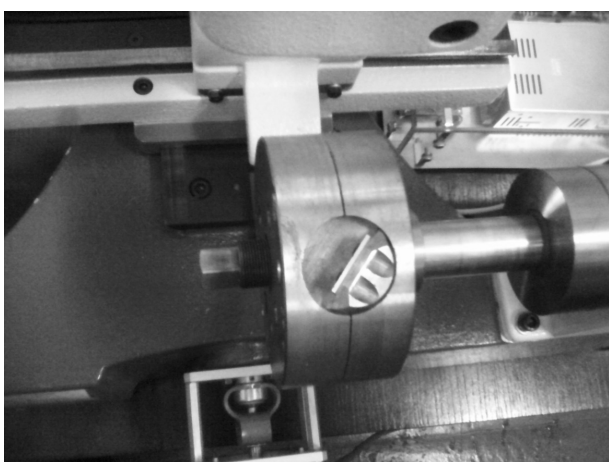


Рис. 5. Контроль параметров фрезы с помощью OptiControl PowerCom

Результаты экспериментальных исследований представлены на рис. 6–7.

Проанализировав данные графические зависимости, можно сделать выводы, что при изменении угла в плане  $\lambda$  происходит значительное уменьшение затрачиваемой полезной мощности, которая в свою очередь оказывает влияние на составляющую силы резания.

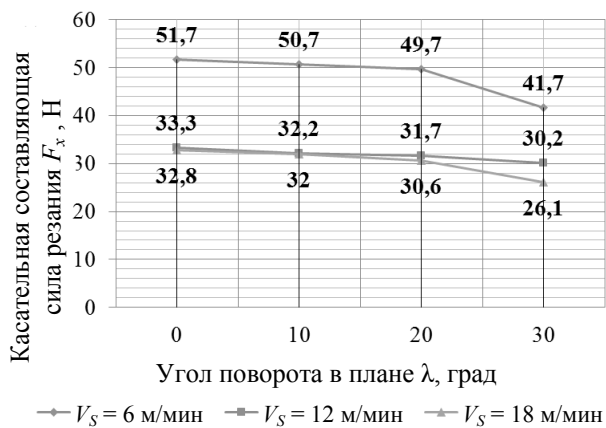
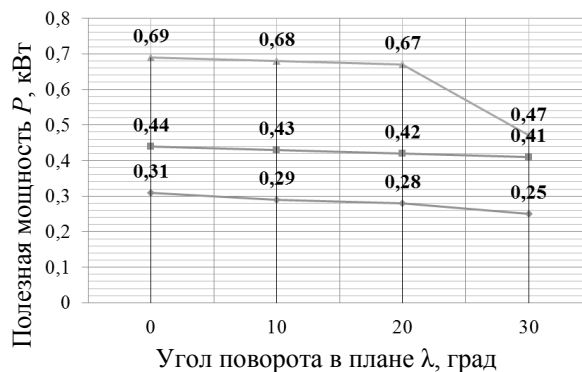


Рис. 6. Зависимость касательной силы резания от угла в плане при разных скоростях подачи



—  $V_s = 6$  м/мин —  $V_s = 12$  м/мин —  $V_s = 18$  м/мин

Рис. 7. Зависимость полезной мощности на резание от угла в плане при разных скоростях подачи

Касательные силы резания значительно влияют на долговечность использования дереворежущего инструмента. При уменьшении данного показателя увеличивается срок службы инструмента.

При принятых допущениях и параметрах обработки теоретические расчеты показывают, что угол поворота режущей кромки в плане  $\lambda = 0-30^\circ$  незначительно влияет на касательную составляющую силы резания (максимальное уменьшение на 17,27%).

Уменьшение мощности составило 0,03 кВт, что составляет 6,8%.

Экспериментальные исследования показали:

1. Сила резания при изменении скорости подачи от 6 до 18 м/мин и при угле в плане, равном 30, имеет следующие значения:

- $F = 41,7$  Н при  $V_s = 6$  м/мин;
- $F = 30,2$  Н при  $V_s = 12$  м/мин;
- $F = 26,1$  Н при  $V_s = 18$  м/мин.

2. Полезная мощность, затрачиваемая на процесс резания, при изменении скорости подачи от 6 до 18 м/мин и при угле в плане, равном 30, имеет следующие значения:

- $P = 0,25$  кВт при  $V_s = 6$  м/мин;
- $P = 0,41$  кВт при  $V_s = 12$  м/мин;
- $P = 0,47$  кВт при  $V_s = 18$  м/мин.

**Выводы.** В процессе работы исследовались энергетические параметры при фрезеровании древесины фрезой с изменяемым осевым углом. Конструкция предложенного инструмента позволяет изменять угол в плане  $\lambda$  и углы передний и задний, которые оказывают значительное влияние на потребляемую мощность. Теоретические расчеты и экспериментальные исследования проводились при следующих параметрах: заготовка – сосна, ширина – 25 мм, частота вращения инструмента  $n = 4000$  мин<sup>-1</sup>, припуск – 2 мм, количество ножей – 1, угол передний –  $20^\circ$ . Изменение угла в плане проводилось в диапазоне  $\lambda = 0-30^\circ$  с градацией через  $10^\circ$ .

Теоретические расчеты при  $\lambda = 30^\circ$  и при скорости подачи, равной 18 м/мин, следующие:  $P = 0,71$  кВт,  $F_x = 37,7$  Н. Для проведения сравнительного анализа представим полученные экспериментальные данные при аналогичных условиях:  $P = 0,81$  кВт,  $F_x = 26,1$  Н. Полученные теоретические результаты отличаются от экспериментальных в среднем на 15%, что обусловлено тем, что при проведении расчетов невозможно учесть силы трения, действующие в процессе обработки.

При принятых допущениях и параметрах обработки теоретические расчеты показывают, что угол поворота режущей кромки в плане  $\lambda = 40\text{--}60^\circ$  незначительно влияет на касательную составляющую силы резания (максимальное уменьшение на 9,3%).

Использование фрезерного инструмента с изменяемым осевым углом эффективно как в плане упрощения подготовки дереворежущего инструмента к работе, так и в плане снижения энергозатрат при его эксплуатации.

### Информация об авторах

**Аникеенко Андрей Федорович** – кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры деревообрабатывающих станков и инструментов. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: anikeenko@belstu.by

**Гришкевич Александр Александрович** – кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой деревообрабатывающих станков и инструментов. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: dosy@belstu.by

**Гаранин Виктор Николаевич** – кандидат технических наук, доцент кафедры деревообрабатывающих станков и инструментов. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: garanin@belstu.by

**Кукреш Анна Сергеевна** – магистрант факультета технологии и техники лесной промышленности. Белорусский государственный технологический университет. (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: anna.kukresh.89@mail.ru

### Information about the authors

**Anikeenko Andrey Fedorovich** – PhD (Engineering), Senior Lecturer, the Department of Woodworking Machines and Tools. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: anikeenko@belstu.by

**Grishkevich Aleksandr Aleksandrovich** – PhD (Engineering), Assistant Professor, Head of the Department of Woodworking Machines and Tools. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: dosy@belstu.by

**Garanin Viktor Nikolaevich** – PhD (Engineering), Assistant Professor, the Department of Woodworking Machines and Tools. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: garanin@belstu.by

**Kukresh Anna Sergeevna** – Master's degree student, the Forestry Engineering and Wood Technology Faculty. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: anna.kukresh.89@mail.ru

*Поступила 16.02.2016*