

УДК 539.422.5

**Д. Л. Болочко, А. А. Гришкевич**

Белорусский государственный технологический университет

**РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ВЛИЯНИЯ  
ОСЕВОГО УГЛА НА МОЩНОСТЬ ФРЕЗЕРОВАНИЯ**

Развитие машиностроения в деревообрабатывающей промышленности предъявляет новые и высокие требования к творческому потенциалу специалистов. В дополнение к профессиональной подготовке ученые и инженеры-исследователи все чаще сталкиваются с необходимыми задачами, такими как знание методов обработки результатов наблюдений, планирование экспериментов, математическое моделирование и методы оптимизации. Кроме того, важно отметить, что экспериментальные методы исследования в деревообработке играют важную роль.

На сегодняшний день проведено несколько исследований по разработке новых моделей фрез для обработки древесины и пиломатериалов. Однако с созданием новых станков с цифровым управлением и совершенствованием конструкции фрезерного инструмента необходимы новые исследования, связанные с оптимальным и экономичным использованием материальных и энергетических ресурсов и улучшением технологического режима работы оборудования. Таким образом, можно сэкономить валютные активы предприятий, тем самым заместив импорт и повысив конкурентоспособность выпускаемой продукции.

В представленной работе получены результаты проведения экспериментальных исследований новой конструкции фрезерного инструмента, определившие влияние осевого поворота ножа на мощностные показатели при фрезеровании древесины сосны как наиболее распространенной породы на мебельных деревообрабатывающих предприятиях. Исследования позволили установить максимальную величину осевого угла, равного  $34^\circ$ , при котором потребляемая мощность уменьшилась на 41%.

**Ключевые слова:** мощность, осевой угол, нож, эксперимент, установка.

**Для цитирования:** Болочко Д. Л., Гришкевич А. А. Результаты экспериментальных исследований влияния осевого угла на мощность фрезерования // Труды БГТУ. Сер. 1, Лесное хоз-во, природопользование и перераб. возобновляемых ресурсов. 2022. № 2 (258). С. 167–172.

**D. L. Bolochko, A. A. Grishkevich**

Belarusian State Technological University

**RESULTS OF EXPERIMENTAL INVESTIGATIONS EFFECTS  
OF AXIS ANGLE ON MILLING POWER**

The development of mechanical engineering in the woodworking industry places new and high demands on the creative potential of specialists. In addition to professional training, scientists and research engineers are increasingly faced with the necessary tasks, such as knowledge of methods for processing observation results, experiment planning, mathematical modeling and optimization methods. In addition, it is important to note that experimental research methods in woodworking play an important role.

To date, several studies have been conducted on the development of new models of milling cutters for processing wood and lumber. However, with the creation of new machines with digital control and the improvement of the design of milling tools, new research is needed related to the optimal and economical use of material and energy resources and the improvement of the technological mode of operation of equipment. Thus, it is possible to save foreign currency assets of enterprises, thereby replacing imports and increasing the competitiveness of manufactured products.

In the presented work, the results of experimental studies of a new design of a milling tool were obtained, which determined the effect of the axial rotation of the knife on power indicators when milling pine wood as the most common species in furniture woodworking enterprises. Research allowed to establish the maximum value of the axial angle, equal to  $34^\circ$ , at which the power consumption decreased by 41%.

**Key words:** power, axial angle, knife, experiment, installation.

**For citation:** Bolochko D. L., Grishkevich A. A. Results of experimental investigations effects of axis angle on milling power. *Proceedings of BSTU, issue 1, Forestry. Nature Management. Processing of Renewable Resources*, 2022, no. 2 (258), pp. 167–172 (In Russian).

**Введение.** Обработка древесины и пиломатериалов путем фрезерования остается важным технологическим процессом в столярной и мебельной промышленности. Существуют различ-

ные методы проведения экспериментов по изучению свойств дереворежущих инструментов [1]. Но большинство из них охватывают более одного изученного переменного параметра, который

влияет на интересующий нас показатель силы резания.

На процесс резания древесины на фрезерном станке влияет множество факторов:

1) факторы, связанные с изучаемым материалом (физико-механические свойства древесных пород – прочность на сжатие, трещины вдоль волокон, твердость, влажность, анизотропия и т. д.) [2];

2) факторы, связанные с режущим инструментом (геометрические параметры ножа, угол резания, марка стали и т. д.) [3];

3) режим резки или обработки (основная скорость перемещения, скорость подачи) [4].

Целью представленной работы является изучение влияния осевых углов на энергетические параметры процесса фрезерования с помощью испытательного прибора с возможностью изменения осевого угла.

**Основная часть.** Методика эксперимента характеризуется стремлением разумно скорректировать результаты в соответствии с целью исследования, получить максимум информации с помощью ограниченного числа тестов, а также правильно обработать и интерпретировать результаты [5].

Обработка древесины и пиломатериалов путем фрезерования остается важным технологическим процессом в строительной и мебельной промышленности. Существуют различные методы проведения экспериментов по изучению свойств дереворежущих инструментов [6]. Но большинство из них охватывает более одного изученного переменного параметра, который влияет на интересующий нас показатель силы резания.

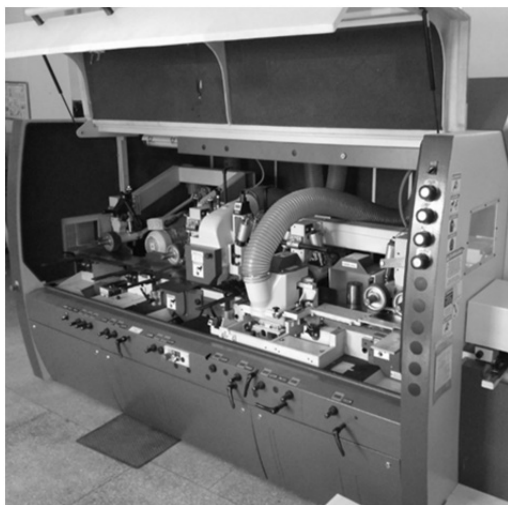
В качестве объекта обработки принята древесина сосны как наиболее часто используемый материал при обработке на фрезерных станках. Образцы из древесины изготавливались в виде обрезных досок с габаритными размерами

1000×300×18 мм с плотностью древесины сосны 515 кг/м<sup>3</sup>. Влажность древесины  $W = 8\text{--}12\%$ . Для реза выбран твердый сплав ВК 8. Угол заострения реза 45°. Частота вращения шпинделя  $n = 2000 \text{ мин}^{-1}$ , диаметр фрезерования  $D = 135 \text{ мм}$ , скорость подачи  $V_s = 6 \text{ м/мин}$ , припуск  $h = 4 \text{ мм}$ . Переменным фактором выбран осевой угол  $\lambda$ .

В качестве экспериментальной установки был выбран шестишпиндельный четырехсторонний продольно-фрезерный станок Unimat 23EL [7] (рис. 1).

Четырехсторонний продольно-фрезерный станок предназначен для обработки плоских и профильных заготовок с четырех сторон в соответствии с поперечным сечением за один проход. Станок может использоваться для резки древесины с помощью пильного диска или многопрофильного блока. В этом случае поверхность бывает плоской или пленчатой. Этот метод используется для изготовления строительных изделий (доски пола, оконные переплеты, оконные и дверные рамы, фермы, паркет), изделий для облицовки автомобилей и кузовов автомобилей, панелей и брусков в контейнерах, деталей мебели из сетки, различных облицовочных поверхностей [8]. На продольно-фрезерных четырехсторонних станках калибруют доски – они придают им большую точность и улучшают качество поверхности [9].

Экспериментальный фрезерный инструмент устанавливается на правый вертикальный шпиндель станка Unimat 23EL при помощи крепления HSK (рис. 2). Ранее в работах [10–12] были произведены расчеты экспериментального инструмента по устойчивой работе держателя ножей и составлены расчетные схемы для определения сил, действующих в процессе работы. Результаты расчетов позволили сделать заключение о работоспособности экспериментальной фрезы.



а



б

Рис. 1. Экспериментальная установка на базе машины с ЧПУ Unimat 23EL: а – общий вид машины Unimat 23EL; б – блок управления машиной Unimat 23EL

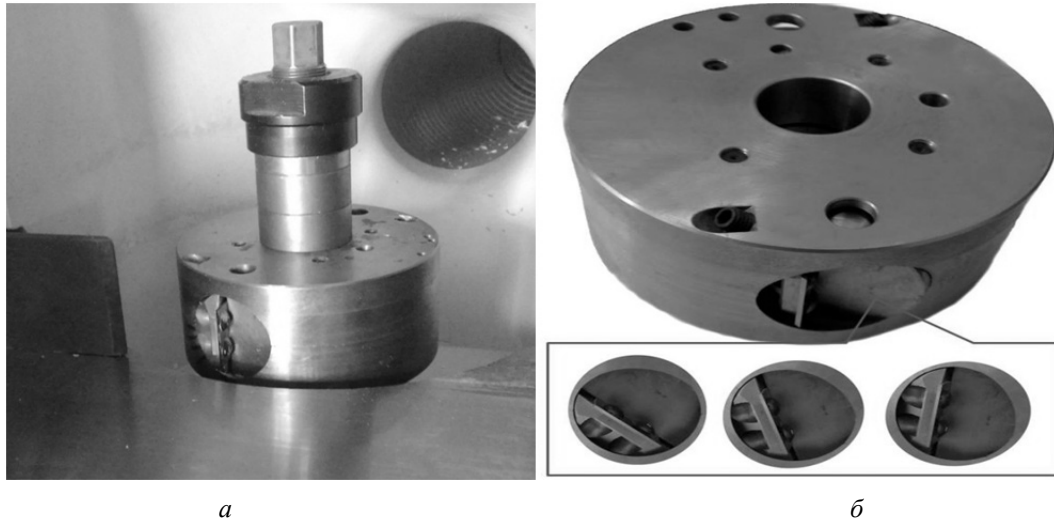


Рис. 2. Экспериментальный инструмент:  
 а – крепление инструмента в машине; б – схема поворота ножа в осевом направлении

Четырехсторонний продольно-фрезерный станок с ЧПУ Unimat 23EL оснащен компьютеризированной системой для проведения исследований высокой точности. Позволяет получать значения текущей потребляемой на резание мощности электродвигателем (программа COMBIVIS 5) [13].

Установка угла производилась на стенде OptiControl. При помощи его можно осуществлять бесконтактный замер любых фрезерных инструментов для деревообрабатывающих станков (например, строгальных головок, фигурных ножевых головок, отрезных фрез, фрезерных рабочих органов).

Установка OptiControl состоит из чугунного основания 11, на котором крепится система базирования инструмента б (рис. 3) и оптическая система, которая с помощью шаговых двигателей или маховиков 2, 4 управляется по двум координатам в горизонтальной плоскости. Причем фокус оптической системы находится в горизонтальной плоскости, проходящей через ось вращения измерительного фрезерного инструмента, установленного на оправке 5. Подсветка на линзу проектора с матовым стеклом 8 осуществляется галогенной лампой 7. Визуальный контроль выставки в горизонтальной плоскости выполняется в радиальном и осевом направлениях с помощью панели визуализации 8 [14].

Крепление насадного фрезерного инструмента осуществляется консольно путем использования зажимного винта 10. Фиксация инструмента реализуется специальным фиксатором 9. Абсолютные и относительные координаты точки фокуса отображаются на электронных индикаторах радиального и осевого размеров 1 и 3.

Фиксация текущей потребляемой мощности производилась с пиктограммы «Осциллограф» (рис. 4).

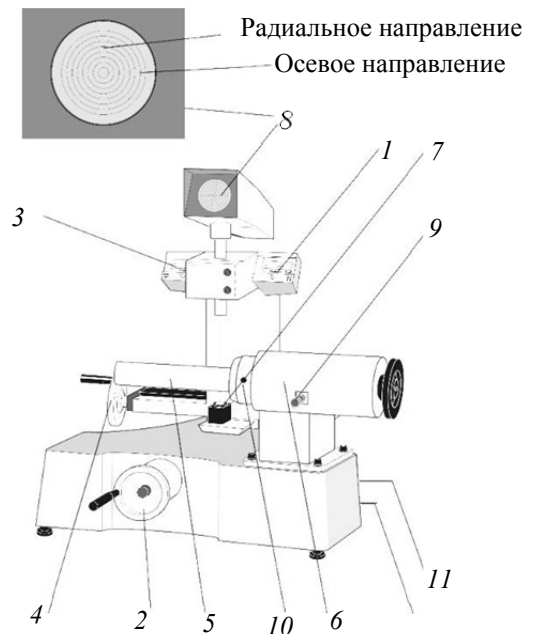


Рис. 3. Измерительный стенд OptiControl:  
 1 – панель управления продольной осью;  
 2 – маховик поперечной оси;  
 3 – панель управления поперечной осью;  
 4 – маховик продольной оси; 5 – оправка;  
 6 – крепежная бабка; 7 – лампа;  
 8 – панель визуализации; 9 – фиксатор поворота;  
 10 – винт фиксатора оправки на установке;  
 11 – станина установки

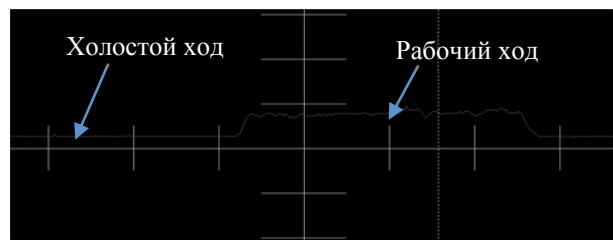


Рис. 4. Пиктограмма «Осциллограф»

Ниже в таблице представлены результаты проведения экспериментальных исследований, отражающие влияние осевого угла  $\lambda$  на мощность рабочего хода  $P_{р.х}$  процесса фрезерования с учетом мощности, затрачиваемой на холостой ход  $P_{х.х}$ .

#### Результаты эксперимента

$\lambda$ , град	$h$ , мм	$n$ , мин <sup>-1</sup>	$V_s$ , м/мин	$P_{х.х}$ , кВт	$P_{р.х}$ , кВт
0	4	2000	6	0,15	0,41
10					0,36
20					0,30
30					0,27
32					0,25
34					0,24

Для наглядности результата исследования построим график зависимости осевого угла  $\lambda$ , град, от мощности фрезерования  $P_{р.х}$ , кВт (рис. 5).

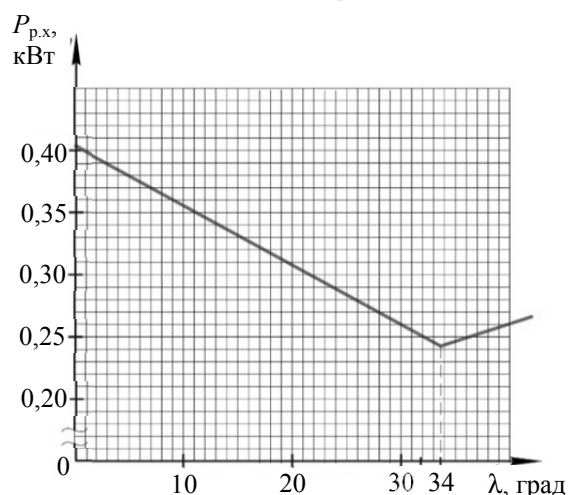


Рис. 5. График зависимости осевого угла  $\lambda$  от мощности фрезерования  $P_{р.х}$

Как показано на графике мощность уменьшается до осевого угла  $34^\circ$ . Дальнейшее увеличение угла не ведет к уменьшению мощности, так как обрабатываемая поверхность приобретает профильную форму. В работе [15] рассмотрен способ получения криволинейных поверхностей прямыми ножами путем поворота ножа в осевом направлении.

**Заключение.** Разработанная методика проведения экспериментальных исследований и налаженная система регистрации лабораторной установки позволили в полной мере получить необходимые данные по определению мощности на резание при фрезеровании.

Графическое отображение результатов проведенных испытаний позволило установить, что изменение мощности на резание в зависимости от переменного фактора в плоском отображении носит приближенный к линейному характер.

Выполненные экспериментальные исследования позволили установить оптимальный осевой угол резания, при котором мощность процесса фрезерования является наименьшей ( $\lambda = 34^\circ$ ).

Установлено, что при изменении осевого угла от  $0$  до  $34^\circ$  потребляемая мощность уменьшается на 41%. Это значительно снижает затраты на электроэнергию. При осевом повороте ножа, в зависимости от величины угла, увеличивается площадь поперечного сечения стружки, так как поверхность обработанной заготовки приобретает фасонную форму. Поэтому благодаря повороту ножа в осевом направлении можно получать криволинейную поверхность обрабатываемой заготовки ножами с прямолинейной режущей кромкой, а не использовать для этого различные конфигурации фрезерного инструмента, которые сложны в изготовлении и переподготовке.

#### Список литературы

1. Бершадский А. Л. Резание древесины. Минск: Выш. шк., 1975. 303 с.
2. Морозов В. Г. Дереворежущий инструмент. М.: Лесная пром-сть, 1974. 340 с.
3. Древесина. Показатели физико-механических свойств малых чистых образцов: ГСССД 69–84. М.: Издательство стандартов, 1985. 30 с.
4. Воскресенский С. А. Резание древесины. М.: Гослесбумиздат, 1955. 200 с.
5. Горский В. Г. Планирование промышленных экспериментов. М.: Металлургия, 1974. 264 с.
6. Бершадский А. Л. Расчет режимов резания древесины. Минск: Выш. шк., 1966. 176 с.
7. Betriebsanleitung für Unimat 23EL. Klipphausen, Germany, 2008. 226 с.
8. Гаранин В. Н. Многооперационные системы деревообрабатывающих машин с числовым программным управлением. Лабораторный практикум. Минск: БГТУ, 2018. 157 с.
9. Гриневиц С. А. Конструкции деревообрабатывающего оборудования. Минск: БГТУ, 2016. 76 с.
10. Гришкевич А. А., Гаранин В. Н., Болочко Д. Л. Режимы эксплуатации рефлекторного фрезерного инструмента с подвижным держателем ножа // Труды БГТУ. Сер. 1, Лесное хозяйство, природопользование и переработка возобновляемых ресурсов. 2018. № 2 (210). С. 270–275.
11. Болочко Д. Л. Результаты теоретических исследований работы рефлекторного фрезерного инструмента с подвижным держателем ножа // 69-я научно-техническая конференция учащихся,

студентов и магистрантов: сборник научных работ, Минск, 2–13 апр. 2018 г.: в 4 ч. Ч. 1. Минск, 2018. С. 231–232.

12. Гришкевич А. А., Болочко Д. Л. Теоретические расчеты, определяющие устойчивость держателя ножа фрезерного инструмента на опоре скольжения в процессе эксплуатации // *Деревообработка: технологии, оборудование, менеджмент XXI века: материалы XIII Международ. евразийского симпозиума*, Екатеринбург, 18–21 сент. 2018 г. Екатеринбург, 2018. С. 155–160.

13. Гришкевич А. А., Гаранин В. Н. Механическая обработка древесины и древесных материалов, управление процессами резания. Лабораторный практикум. Минск: БГТУ, 2014. 88 с.

14. Немецкое деревообрабатывающее оборудование // Официальное представительство немецкого концерна WEINIG AG. URL: <https://weinig.su/solidwood/dopolnitelnoe-oborudovanie/opticontrol.php> (дата обращения: 13.03.2022).

15. Технология применения фрезерного инструмента с прямыми ножами для изготовления криволинейных поверхностей / А. А. Гришкевич [и др.] // *Труды БГТУ. Сер. 1, Лесное хозяйство, природопользование и переработка возобновляемых ресурсов*. 2018. № 2 (210). С. 296–302.

### References

1. Bershadskiy A. L. *Rezaniye drevesiny* [Wood cutting]. Minsk, Vysheyshaya shkola Publ., 1975. 303 p. (In Russian).

2. Morozov V. G. *Derevorezhushchiy instrument* [Wood-cutting tool]. Moscow, Lesnaya promyshlennost' Publ., 1974. 340 p. (In Russian).

3. GSSSD 69–84. Wood. Indicators of physical and mechanical properties of small pure samples. Moscow, Izdatel'stvo standartov Publ., 1985. 30 p. (In Russian).

4. Voskresenskiy S. A. *Rezaniye drevesiny* [Wood cutting]. Moscow, Goslesbumizdat Publ., 1955. 200 p. (In Russian).

5. Gorskiy V. G. *Planirovaniye promyshlennykh eksperimentov* [Planning of industrial experiments]. Moscow, Metallurgiya Publ., 1974. 264 p. (In Russian).

6. Bershadskiy A. L. *Raschet rezhimov rezaniya drevesiny* [Calculation of wood cutting modes]. Minsk, Vysheyshaya shkola Publ., 1966. 176 p. (In Russian).

7. Betriebsanleitung für Unimat 23EL. Klipphausen, Germany, 2008. 226 p. (In German).

8. Garanin V. N. *Mnogooperatsionnyye sistemy derevoobrabatyvayushchikh mashin s chislovyim programmnyim upravleniyem. Laboratornyy praktikum* [Multi-operational systems of woodworking machines with numerical control. Laboratory practice]. Minsk, BGTU Publ., 2018. 157 p. (In Russian).

9. Grinevich S. A. *Konstruktsii derevoobrabatyvayushchego oborudovaniya* [Constructions of woodworking equipment]. Minsk, BGTU Publ., 2016. 76 p. (In Russian).

10. Grishkevich A. A., Garanin V. N., Bolochko D. L. Operating modes of a reflex milling tool with a movable knife holder. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], issue 1, Forestry. Nature Management. Processing of Renewable Resources, 2018, no. 2 (210), pp. 270–275 (In Russian).

11. Bolochko D. L. The results of theoretical studies of the work of a reflex milling tool with a movable knife holder. *69-ya nauchno-tehnicheskaya konferentsiya uchaschchikhsya, studentov i magistrantov: sbornik nauchnykh rabot: v 4 chastyakh. Chast' 1* [69st Scientific and Technical Conference of students, undergraduates and undergraduates: collection of scientific papers. In 4 parts. Parts 1]. Minsk, 2018, pp. 231–232 (In Russian).

12. Grishkevich A. A., Bolochko D. L. Theoretical calculations that determine the stability of the knife holder of a milling tool on a sliding support during operation. *Derevoobrabotka: tekhnologii, oborudovaniye, menedzhment XXI veka: materialy XIII Mezhdunarodnogo evraziyskogo simpoziuma* [Woodworking: technologies, equipment, management of the XXI century: materials of the XIII International Eurasian Symposium]. Ekaterinburg, 2018, pp. 155–160 (In Russian).

13. Grishkevich A. A., Garanin V. N. *Mekhanicheskaya obrabotka drevesiny i drevesnykh materialov, upravleniye protsessami rezaniya. Laboratornyy praktikum* [Mechanical processing of wood and wood materials, control of cutting processes. Laboratory practice]. Minsk, BGTU Publ., 2014. 88 p. (In Russian).

14. German woodworking equipment. Available at: <https://weinig.su/solidwood/dopolnitelnoe-oborudovanie/opticontrol.php> (accessed 18.03.2022) (In Russian).

15. Grishkevich A. A., Garanin V. N., Anikeenko A. F., Bolochko D. L. Technology of using milling tools with straight knives for the manufacture of curved surfaces. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], issue 1, Forestry. Nature Management. Processing of Renewable Resources, 2018, no. 2 (210), pp. 296–302 (In Russian).

### Информация об авторах

**Болочко Дмитрий Леонидович** – аспирант кафедры деревообрабатывающих станков и инструментов. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: dima.bolochko.94@mail.ru

**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

### Information about the authors

**Bolochko Dmitriy Leonidovich** – PhD student, the Department of Woodworking Machines and Tools. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: dima.bolochko.94@mail.ru

**Grishkevich Aleksandr Aleksandrovich** – PhD (Engineering), Associate 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

*Поступила 18.03.2022*