

## СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

УДК 684.4.05

DOI: 10.18324/2077-5415-2025-3-95-101

### Исследование влияния выбора фрезы на качество передачи рельефа при фрезеровании изделий из твердых пород древесины сложной формы

Д.Б. Подашев<sup>a</sup>, А.Г. Кисель<sup>b</sup>, И.И. Луценко<sup>c</sup>, А.С. Ихтияров<sup>d</sup>, Л.А. Кириков<sup>e</sup>

Калининградский государственный технический университет, Советский проспект, 1, Калининград, Россия

<sup>a</sup> dmitrij.podashev@klgtu.ru, <sup>b</sup> anton.kisel@klgtu.ru, <sup>c</sup> iljushalutsenko@yandex.ru, <sup>d</sup> lxender@mail.ru,

<sup>e</sup> massivrelief@gmail.com

Статья поступила 23.06.2025, принята 08.09.2025

*В статье представлены результаты компьютерной симуляции чистовой обработки фрагмента модели багета с виноградной лозой, выполненной в формате STL, различными сферическими фрезами. Моделирование проводилось с целью определения влияния геометрических особенностей фрез и шага обработки на качество обработанной поверхности и её визуальное восприятие, а также на производительность процесса обработки. Результаты моделирования подтверждены экспериментальными исследованиями на образцах из твёрдой породы древесины, а именно клееного массива дуба. На основе проведённого 3D-моделирования и последующего анализа опытных образцов, были выявлены зависимости производительности процесса обработки и качества обработанной поверхности от радиуса скругления наконечника используемой фрезы и расчётного шага обработки. Установлено, что фрезы с различным диаметром наконечника оказывают разное влияние на конечный результат обработки, что, в конечном итоге, влияет на точность передачи контуров рельефа и общее визуальное восприятие готового изделия. Таким образом, установлена необходимость правильного выбора режущего инструмента и шага обработки для достижения высоких показателей производительности процесса обработки, качества обработанной поверхности и эстетической привлекательности изделия. Проведённые исследования позволили определить наиболее подходящие инструменты и рекомендовать использование конкретных типов фрез для обеспечения высокой точности и чёткости передачи контуров рельефов 3D-модели, что особенно важно при производстве декоративных элементов, где важны как технические характеристики, так и эстетическая составляющая. Кроме того, установлена необходимость проведения дальнейших теоретико-экспериментальных исследований, необходимых для дальнейшего повышения производительности процесса обработки и достижения более высокого уровня качества передачи рельефа 3D-модели на готовое изделие.*

**Ключевые слова:** режущий инструмент, сферическая фреза, визуальное восприятие, мебельные товары, компьютерная симуляция, моделирование, контуры рельефа, передача рельефа, шаг обработки, постпроцессор, управляющая программа.

### The impact of cutter selection on the quality of relief reproduction in milling complex-shaped products from hardwoods

D.B. Podashev<sup>a</sup>, A.G. Kisel<sup>b</sup>, I.I. Lutsenko<sup>c</sup>, A.S. Ikhtiyarov<sup>d</sup>, L.A. Kirikov<sup>e</sup>

Kaliningrad State Technical University; 1, Sovetsky Ave., Kaliningrad, Russia

<sup>a</sup> dmitrij.podashev@klgtu.ru, <sup>b</sup> anton.kisel@klgtu.ru, <sup>c</sup> iljushalutsenko@yandex.ru, <sup>d</sup> lxender@mail.ru,

<sup>e</sup> massivrelief@gmail.com

Received 23.06.2025, accepted 08.09.2025

*The article presents the results of a computer simulation of finish machining of a model molding fragment with grapevine patterns in STL format using various spherical cutters. The modeling is carried out to determine the influence of geometric features of the cutters and processing step on the quality of the processed surface and its visual perception, as well as on the productivity of the machining process. The simulation results are confirmed by experimental studies on samples made from hardwood species, specifically laminated oak. Based on the conducted 3D-modeling and subsequent analysis of test samples, dependencies between the productivity of the machining process and the quality of the processed surface on the radius of rounding at the tip of the used cutter and the calculated processing step are identified. It is established that cutters with different tip diameters have varying effects on the final result of machining, which ultimately affects the accuracy of contour transmission and overall visual perception of the finished product. Thus, the necessity for proper selection of cutting tools and processing steps to achieve high levels of machining productivity, surface quality, and aesthetic appeal is highlighted. The research allows identifying the most suitable tools and recommending specific types of cutters to ensure high precision and clarity in transmitting relief contours of 3D-models, particularly important in the production of decorative elements where both technical characteristics and aesthetics are crucial. Furthermore, it is determined that further theoretical-experimental investigations are necessary to enhance the productivity of the machining process and achieve higher levels of quality in transferring the 3D-model's relief onto the finished product.*

**Keywords:** cutting tool, spherical mill, visual perception, furniture products, computer simulation, modeling, relief contours, relief transfer, processing step, postprocessor, control program.

**Введение.** В настоящее время мебельные товары занимают важное место в повседневной жизни людей. Они оказывают значительное воздействие на физическое и эмоциональное состояние человека. Постоянная модернизация сырья и производственного процесса делает современную мебель всё более комфортной, практичной и привлекательной [1]. В её создании используются разнообразные материалы: дерево, металл, настилочные и набивочные материалы.

Традиционно, основу мебельного производства составляют древесные материалы, благодаря их природной красоте, легкости обработки и удобству сборки.

Основные требования к мебели включают:

1) функциональность (мебель должна эффективно выполнять свои задачи, соответствующие размерам и форме человеческого тела. Конструкция должна быть устойчивой и выдерживать допустимые нагрузки);

2) эстетику (мебель служит украшением интерьера, должна выглядеть привлекательно, следовать модным тенденциям в дизайне и материалах);

3) эргономику (мебель должна обеспечивать удобство использования, поддерживать чистоту и способствовать созданию комфортного пространства).

Современные стандарты деревообработки требуют высокого качества обработки деталей, особенно это касается мебельной индустрии [2].

Оценка качества мебели основывается на нормативных актах. Все материалы проходят обязательную сертификацию, чтобы исключить выделение вредных веществ при использовании мебели.

Органолептический метод играет ключевую роль в определении соответствия эстетическим требованиям и выявлении дефектов. Недопустимы такие недостатки, как неровные швы, несоответствующий цвет нитей, складки, если это не оговорено стандартами. Определённые виды дефектов могут быть допущены с ограничением (например, сросшиеся сучки, отклонения волокон), но не более трёх на одно изделие. Запрещены гниль, плесень, непроклеенные участки, дефекты покрытия (пузыри, царапины, отслаивание).

В настоящее время, когда стоимость сырья остаётся относительно стабильной, одним из эффективных методов снижения затрат в деревообработке и массовом производстве мебели является автоматизация производственных процессов, увеличение скорости работы и сокращение простоя оборудования. Наиболее экономически оправданным решением стало использование станков с числовым программным управлением (ЧПУ).

Множество работ отечественных и зарубежных исследователей посвящено автоматизированному проектированию корпусной мебели на основе различных САПР, исследованиям непосредственно процесса обработки древесины, износа инструмента при обработке древесины, изучению влияний вибраций станка на качество обработки и другим вопросам [3–19]. Авторами [16, 20] отмечена необходимость перехода к комплексной трехмерной визуализации мебельного изделия на этапе проектирования, однако недостаточно внимания уделено реальному использованию возможностей современных средств компьютерного моделирования для решения одной из наиболее актуальных проблем, кото-

рая заключается в выборе оптимальных параметров 3D-модели, а также режущего инструмента для станков с ЧПУ, который обеспечит высокое качество обработки, наилучшую четкость и точность передачи рельефов 3D-модели при наименьших затратах на инструмент и сам процесс обработки.

Настоящая работа посвящена применению современных программных средств компьютерной симуляции, позволяющих осуществить выбор оптимальных инструментов, обеспечивающих наилучшую точность и чёткость передачи контуров рельефа модели, что в дальнейшем позволит выявить наиболее рациональное время и траекторию обработки.

**Материалы и методы исследований.** В качестве объекта исследований выбрана модель багета с виноградной лозой, представленная в формате stl и показанная на рис. 1.

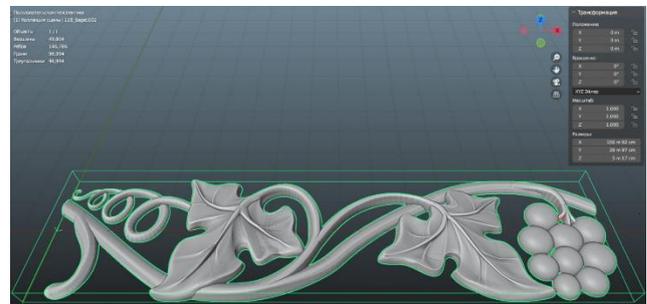


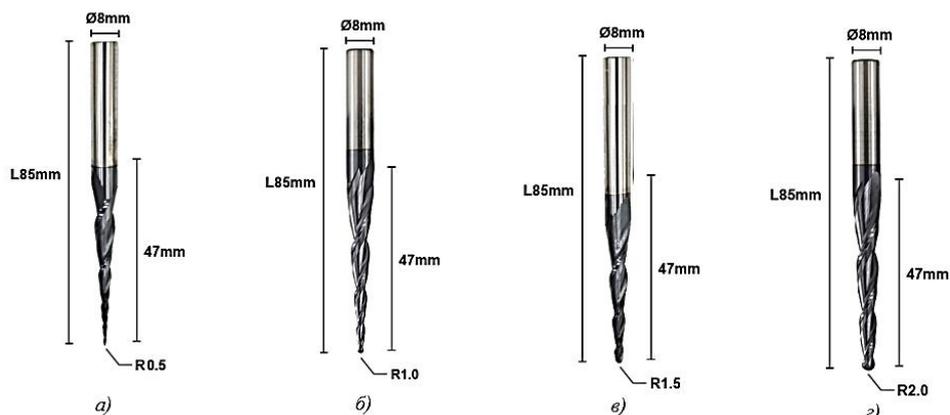
Рис. 1. Исходные параметры модели

При подборе оптимального режущего инструмента использован набор конусных фрез со сферическим округлением кончика. Коническая форма в сочетании со сферической конструкцией обеспечивает более плавную резку и лучшее качество поверхности, что подходит для трехмерных работ и высокоточных задач. Длина фрез 85 мм обеспечивает большой съём материала по высоте. Геометрические особенности данных фрез позволяют достигать труднодоступных участков деталей, что делает фрезы данной конструкции оптимальными при изготовлении изделий со сложными геометриями.

В настоящей работе использовались фрезы фирмы XCAN (производство Китайская народная республика), изготовленные из сплава K40UF. Геометрические параметры данных фрез представлены на рис. 2.

Следует отметить, что 1 метр модели в программе соответствует 1 мм в реальном изделии. Для анализа взят небольшой участок рельефа,  $X = 156 \text{ м } 92 \text{ см}$  (т. е. 156,92 мм);  $Y = 39 \text{ м } 97 \text{ см}$  (39,97 мм);  $Z = 5 \text{ м } 17 \text{ см}$  (5,17 мм). Сохраняя пропорции, размер модели был увеличен в 2,5 раза до небольшого виноградного листа в натуральную величину:  $X = 395 \text{ м}$  (395 мм);  $Y = 100,6 \text{ м}$  (100,6 мм);  $Z = 13 \text{ м}$  (13 мм).

Для подтверждения результатов компьютерного моделирования, проведены экспериментальные исследования по обработке образцов из клееного массива дуба. При проведении исследований использовался среднеформатный фрезерный станок Wattsan A1 1313 (рис. 3).



**Рис. 2.** Фрезы со сферическим скруглением кончика компании XCAN: *а* – фреза конусная R0.5x47xD8-85L; *б* – фреза конусная R1.0x47xD8-85L; *в* – фреза конусная R1.5x47xD8-85L; *г* – фреза конусная R2.0x47xD8-85L



**Рис. 3.** Среднеформатный фрезерный станок Wattsan A1 1313

**Результаты и обсуждение.** Симуляция обработки выполнялась в программном комплексе PowerMill\_2024.0.1, который предназначен, в том числе и для разработки управляющих программ для 3-осевых и многоосевых фрезерных станков с ЧПУ.

Геометрические параметры фрезы задавались в программном комплексе PowerMill\_2024.0.1. Первоначально, при выполнении симуляций не учитывались режимы резания, учитывался только радиус кончика фрезы. Условный шаг обработки принят равным 0,25 мм.

На рис. 4, *а* представлены результаты моделирования обработки фрезой R0.5x47xD8-85L. Установлено, что данная фреза оставляет скругления прямых углов 0,5 мм, микронеровности 0.032293 мм в виде гребня (при допуске на данный показатель 0,1 мм). Диаметр кончика фрезы не позволяет обработать узкие и глубокие участки рельефа шириной меньше 1 мм, глубиной больше 0,5 мм. Визуально, контуры рельефа чёткие, идентичны оригинальной 3D-модели.

Следует отметить, что допустимые диапазоны по режимам обработки зависят от используемого оборудования и возникающих нагрузок в процессе обработки, а также специфических свойств обрабатываемой древесины.

При большой подаче и малых скоростях вращения, древесина разрушается или выходит из строя фреза,

при высоких скоростях вращения и малой подаче по осям фреза перегревается и происходит горение древесины.

В пределах допустимых диапазонов нужный режим, скорость подачи, обороты шпинделя, как правило, подбирает оператор станка с ЧПУ, исходя из мощности станка и размера фракции (стружки), получаемой в процессе обработки, основываясь на собственном опыте. При этом установлено, что выбор режимов обработки в пределах допустимых диапазонов, установленных опытным путем, не влияет на качество передачи рельефов. В связи с изложенным, для проведения компьютерного моделирования решение задачи по оптимальному выбору фрез и проведения экспериментальных исследований, определены следующие режимы обработки: обороты шпинделя 12 000 об/мин; ускоренные перемещения 8000 мм/мин; подача врезания 400 мм/мин; рабочая подача 4000 мм/мин; подача на зуб 0,167 мм/зуб.

При обработке фрезой R1.0x47xD8-85L установлено, что скругления прямых углов составляют 1 мм, микронеровности 0.015749 мм в виде гребня (при допуске на данный показатель 0,1 мм). Диаметр кончика фрезы не позволяет обработать узкие и глубокие участки рельефа шириной менее 2 мм, глубиной более 1 мм. Визуально контуры рельефа модели чёткие (рис. 5).

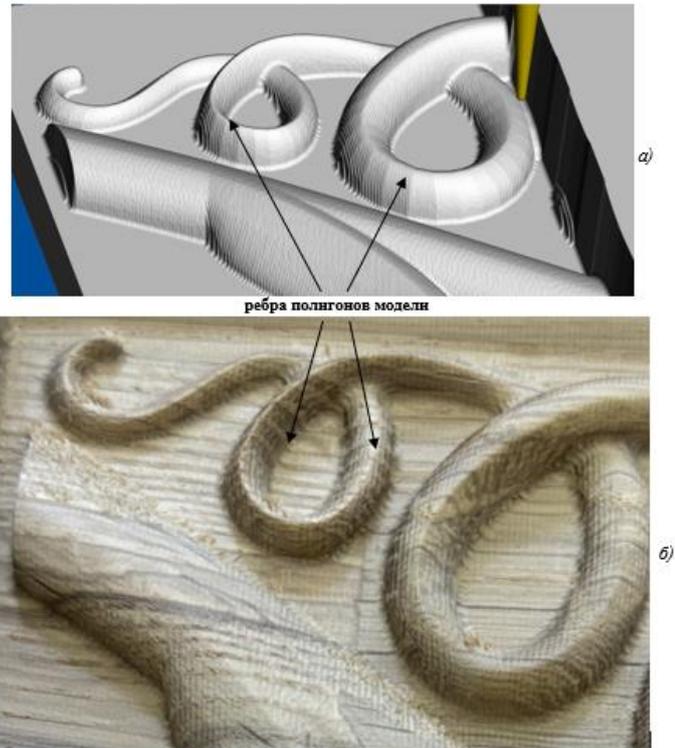


Рис. 4. Результаты моделирования (а) и обработки (б) фрезой R0.5x47xD8-85L

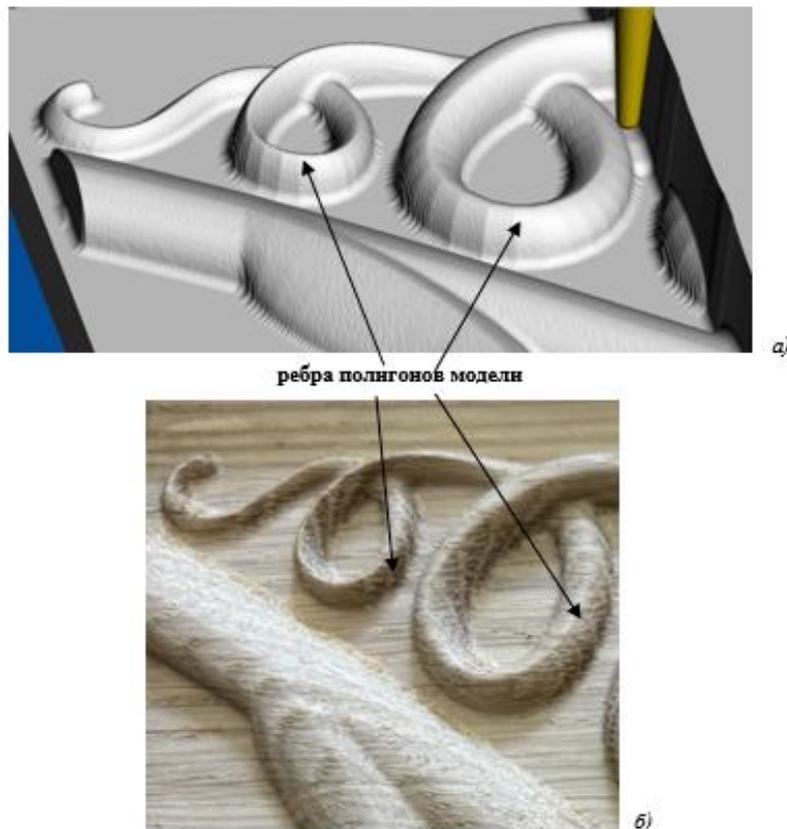


Рис. 5. Результаты моделирования (а) и обработки (б) фрезой R1.0x47xD8-85L

На рис. 6 представлены результаты моделирования обработки фрезой R1.5x47xD8-85L. Данная фреза оставляет скругления прямых углов 2 мм, микронеровности 0.010453 мм в виде гребня (при допуске на дан

ный показатель 0,1 мм). Диаметр кончика фрезы не позволяет обработать узкие и глубокие участки рельефа шириной меньше 3 мм, глубиной больше 1,5 мм. Визуально, контуры рельефа модели размыты.

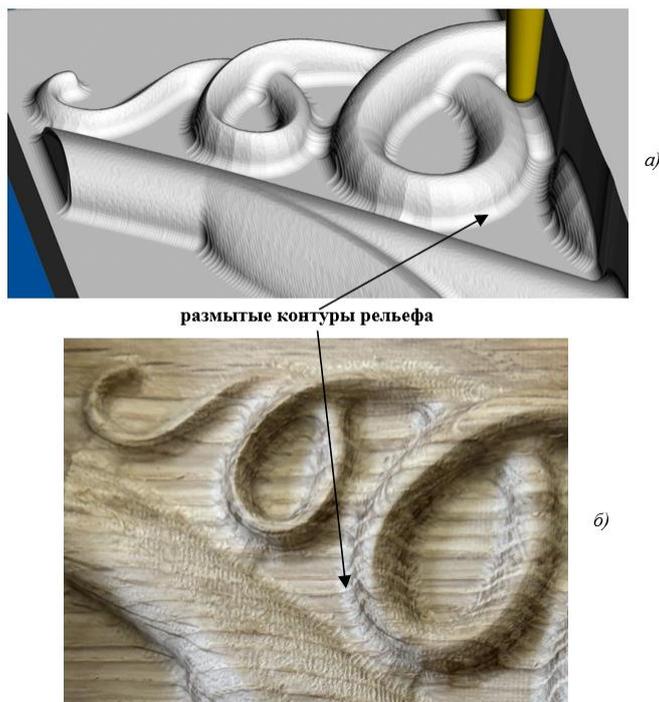


Рис. 6. Результаты моделирования (а) и обработки (б) фрезой R1.5x47xD8-85L

Таким образом, по результатам проведенных исследований установлено, что применение фрез R0.5x47xD8-85L и R1.0x47xD8-85L позволяет обеспечить четкость передачи контуров рельефа модели, а также отсутствие недорезов и других значимых дефектов обработки.

Также, в программном комплексе PowerMill\_2024.0.1 проведены расчёты времени обработки и длины траектории.

Результаты расчётов времени обработки, суммарной длины траектории и высоты остающихся микро-

ровностей при обработке фрезами R0.5x47xD8-85L и R1.0x47xD8-85L приведены в табл. 1.

При обработке фрезой R2.0x47xD8-85L установлено, что фреза оставляет скругления прямых углов 2 мм, микронеровности 0.007828 мм в виде гребня (при допуске на данный показатель 0,1 мм). Диаметр кончика фрезы не позволяет обработать узкие и глубокие участки рельефа шириной меньше 4 мм, глубиной больше 2 мм. Визуально, контуры рельефа модели существенно размыты (рис. 7).

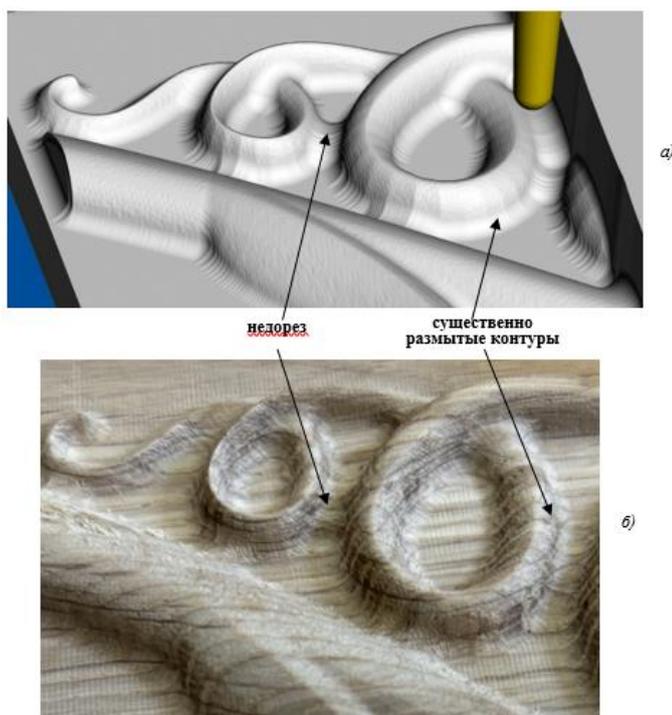


Рис. 7. Результаты моделирования (а) и обработки (б) фрезой R2.0x47xD8-85L

Симуляция расчета времени обработки с учётом запрограммированной кинематики станка выполнена при помощи программы ArtSoft Mach3 R3.041.

В качестве примера на рис. 8 приведены настройки шагового двигателя (ШД) по оси X. По оси Y и Z настройки выполнены аналогичным образом: ШД по оси X: скорость 6000 мм в мин, ускорение 800 мм/с<sup>2</sup>; ШД по оси Y: скорость 6000 мм в мин, ускорение 800 мм/с<sup>2</sup>; ШД по оси Z: скорость 2000 мм в мин, ускорение 400 мм/с<sup>2</sup>.

Уточнённые результаты расчётов времени обработки, учитывающие запрограммированную кинематику станка, также приведены в табл. 1.

В программном комплексе PowerMill\_2024.0.1 вычисленная траектория обработки представлена в виде CL-data и состоит из прямых и точек, минимальная длина прямых составляет 0,25 мм в соответствии с вычисленным шагом обработки. CL-data (Cutter location data) представляет собой универсальную запись траекторий перемещения режущего инструмента, органов станка и технологических команд. При этом увеличение числа точек траектории (повышение точности) не оказывает влияния на улучшение качества передачи рельефа, но увеличивает количество записываемых координат перемещения и конечный объём управляющей программы (УП).

Запись траектории осуществлена с применением постпроцессора собственной сборки для 3-осевого фрезерного станка, подготовленного в программе PM-post Utility.

Таким образом, при помощи PowerMill\_2024.0.1 записаны NC-файлы – УП в текстовом формате \*.tap, читаемые на станке Wattsan A1 1313 и любом другом станке с аналогичной кинематикой.

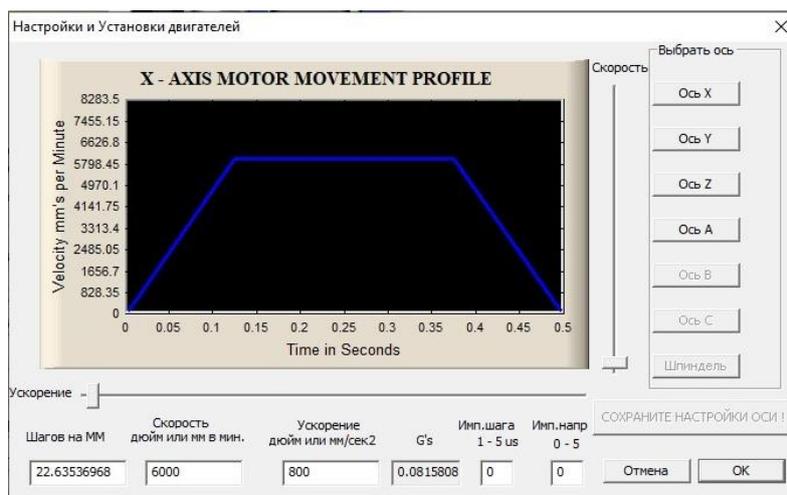
В УП заложены следующие режимы обработки: G90: абсолютное позиционирование (абсолютные координаты измеряются от начальной точки программы); G0: быстрое перемещение (к начальной точке программы на максимальной подаче); S12000 - обороты

шпинделя (12000 об/мин); G1: линейное перемещение со скоростью подачи F; F400: подача врезания (400 мм/мин); F4000: рабочая подача (4000 мм/мин).

**Таблица 1.** Результаты симуляции обработки фрезами R0.5x47xD8-85L и R1.0x47xD8-85L

Шаг, мм	Фреза R0.5-30-D6-L75		
	Расчётное время обработки без учета кинематики станка (с учетом кинематики станка), с	Длина всех перемещений, м	Высота микронеровностей в виде гребня, мкм
0,1	8150 (11413)	533,208	5,025
0,125	6556 (9176)	426,93	7,875
0,17	<b>4867 (6777)</b>	<b>314,317</b>	<b>14,665</b>
0,2	<b>4164 (5799)</b>	<b>267,442</b>	<b>20,417</b>
0,25	<b>3367 (4655)</b>	<b>214,396</b>	<b>32,293</b>
0,34	–	–	–
0,4	–	–	–
0,5	–	–	–
Шаг, мм	Фреза R1.0-30-D6-L75		
	Расчетное время обработки без учета кинематики станка (с учетом кинематики станка), с	Длина всех перемещений, м	Высота микронеровностей в виде гребня, мкм
0,1	–	–	–
0,125	–	–	–
0,17	<b>4676 (6253)</b>	<b>304,207</b>	<b>7,251</b>
0,2	<b>3995 (5341)</b>	<b>258,865</b>	<b>10,051</b>
0,25	<b>3224 (4294)</b>	<b>207,419</b>	<b>15,749</b>
0,34	2407 (3201)	152,958	29,33
0,4	2067 (2744)	130,286	40,834
0,5	1681 (2225)	104,574	64,586

Результаты симуляции, приведённые в табл. 1, подтверждены экспериментально на образцах из клееного массива дуба (см. рис. 4–7)



**Рис. 8.** Настройка шаговых двигателей

**Заключение.** Установлено, что применение фрез R0.5x47xD8-85L и R1.0x47xD8-85L позволяет обеспечить наилучшую чёткость передачи контуров рельефа

3D-модели, а также отсутствие недорезов и других существенных дефектов обработки.

Доказано, что при одинаковых шагах, фреза R1.0x47xD8-85L с наконечником R1.0 имеет преимущество по времени обработки (~4 % без учета запрограммированной кинематики станка, ~8 % с учетом запрограммированной кинематики станка). Суммарная длина траекторий при этом короче на 3,2 % по сравнению с фрезой R0.5x47xD8-85L с наконечником R0.5. Кроме того, в сравнении с фрезой R0.5x47xD8-85L, толщина наконечника фрезы R1.0x47xD8-85L в 2 раза больше, что повышает срок её службы. Оставшиеся микронеровности после обработки фрезой R1.0x47xD8-85L в 2 раза меньше, соответственно, это уменьшит время постобработки и ускорит данный процесс.

#### Литература

1. Гордиевич Е.И., Игнатович Л.В. Исследование органолептических показателей качества мягкой мебели и оценка их весомости // Труды БГТУ. Серия 1: Лесное хозяйство, природопользование и переработка возобновляемых ресурсов. – 2023. – № 2 (270). – С. 166–172.
2. Влияние анизотропии древесины и вибрации на качество фрезерования деталей мебели / А.А. Воробьев, И.Н. Спицын, Ю.А. Филиппов // Хвойные бореальной зоны. – 2013. – Т. 1, № 1–2. – С. 164–167.
3. Мохаммед Хайдер А.А. Математическое моделирование процесса фрезерования древесины // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. – 2017. – Т. 5, № 4 (30). – С. 239–241.
4. Gu J., Cao P. Prediction of straight tooth milling of scots pine wood by shank cutter based on neural net computations and regression analysis // Bioresources. – 2022. Vol. 17, № 2. – P. 2003–2019.
5. Factors affecting the consumption of energy during the milling of thermally modified and unmodified beech wood / J. Kubs, M. Gaff, S. Barcik // Bioresources. – 2016. Vol. 11, № 1. – P. 736–747.
6. Wear of cemented tungsten carbide (wc) router cutters during oak wood milling / D. Kazlauskas, V. Jankauskas, R. Bendikiene, Keturakis [et al.]. // Mechanika. – 2017. – Vol. 23, № 3. – P. 469–472.
7. Porankiewicz B. Theoretical simulation of cutting edge wear when milling wood and wood based products. Wood Science and Technology. – 2006. – Vol. 40, № 2. – P. 107–117.

#### References

1. Gordievich E.I., Ignatovich L.V. The study of organoleptic quality indicators of upholstered furniture and the assessment of their significance. – Trudy BGTU. – Serija 1: Lesnoe hozjajstvo, prirodnopol'zovanie i pererabotka vozobnovljajemyh resursov. – 2023. – № 2 (270). – pp. 166–172.
2. Vorob'ev A.A., Spicyn I.N., Filippov Ju.A. Influence of Wood Anisotropy and Vibration on the Quality of Furniture Parts Milling. Hvojnye boreal'noj zony. – 2013. – Vol. 31. – № 1–2. – pp. 164–167.
3. Mohammed Hajder A.A. Mathematical Modeling of Wood Milling Process. Aktual'nye napravlenija nauchnyh issledovanij XXI veka: teorija i praktika. – 2017. – Vol. 5. – № 4 (30). – pp. 239–241.
4. Gu J., Cao P. Prediction of straight tooth milling of scots pine wood by shank cutter based on neural net computations and regression analysis. Bioresources. – 2022. – Vol. 17. – № 2. – pp. 2003–2019.
5. Kubs J., Gaff M., Barcik S. Factors affecting the consumption of energy during the milling of thermally modified and unmodified beech wood. Bioresources. – 2016. – Vol. 11. – № 1. – pp. 736–747.
6. Wear of cemented tungsten carbide (wc) router cutters during oak wood milling / D. Kazlauskas, V. Jankauskas,

Однако результаты симуляции и экспериментальных исследований показали передачу граней модели (см. рис. 6 и 7). Для более качественной передачи рельефа 3D-модели необходимо произвести комплекс дальнейших теоретико-экспериментальных исследований по выявлению оптимальных параметров ретопологии 3D-модели под расчетные фрезы, что позволит реализовать управляющую программу с кратчайшими плавными траекториями и поспособствует дальнейшему уменьшению времени обработки и повышению качества обрабатываемых поверхностей.

- R. Bendikiene [et al.] // Mechanika. – 2017. – Vol. 23. – № 3. – pp. 469–472.
7. Porankiewicz B. Theoretical simulation of cutting edge wear when milling wood and wood based products // Wood Science and Technology. – 2006. – Vol. 40. – № 2. – pp. 107–117.
8. Kovatchev G., Atanasov V. Determination of vibration during longitudinal milling of wood-based materials. Acta Facultatis Xylogologiae Zvolen. – 2021. – Vol. 63. – № 1. – pp. 85–92.
9. Kúdela J., Mrenica L., Javorek L. The influence of milling and sanding on wood surface morphology. Acta Facultatis Xylogologiae Zvolen. – 2018. – Vol. 60. – № 1. – pp. 71–83.
10. Fomin A.A., Gusev V.G., Safin R.G. Cutting Power during Profile Milling of Sawmill Waste // Vestnik Kazanskogo tehnologicheskogo universiteta. – 2013. – Vol. 16. – № 14. – pp. 193–198.
11. Loc N.H., Hung T.Q. Optimization of cutting parameters on surface roughness and productivity when milling wood materials // Journal of Machine Engineering. – 2021. – Vol. 21. – № 4. – pp. 72–89.
12. Jiang Sh., Buck D., Tang Qi. [et al.]. Cutting Force and Surface Roughness during Straight-Tooth Milling of Walnut Wood. Forests. – 2022. – Vol. 13. – № 12. – p. 2126.
13. Endriss F., Baumgarten B., Horn P. [et al.] Influence of milling on representative sample preparation for the analysis of trace elements in waste wood // Biomass and Bioenergy. – 2023. – Vol. 168. – P. 106679.
14. Yang Ch., Ma Ya., Liu T. [et al.]. Experimental Study of Surface Roughness of Pine Wood by High-Speed Milling // Forests. – 2023. – Vol. 14. – № 6. – P. 1275.
15. Huang Y.S., Chen S.S., Hwang G.S., Tang J.L. Peripheral milling properties of compressed wood manufactured from planted China-fir // Holz als Roh und Werkstoff. – 2003. – Vol. 61. – № 3. – pp. 201–205.
16. Bunakov P.Ju., Gusev S.Ja., Starikov A.V. [et al.] Conceptual Foundations of Multi-Aspect Design in an Integrated System of Automated Furniture Design. – Vestnik komp'juternyh i informacionnyh tehnologij. – 2009. – № 10(64). – pp. 21–29.
17. Bunakov P.Ju. Optimization of Cabinet Furniture Design in the BAZIS System Using Composite Elements. SAPR i grafika. – 2016. – № 9(239). – pp. 58–61.
18. Kazakova N.Ju., Cju C. Application of Digital Technologies in the Field of Traditional Furniture Design in China. Dekorativnoe iskusstvo i predmetno-prostranstvennaja sreda. – 2022. – № 3–2. – pp. 165–173.
19. Feofanov A.N., Koloshkina I.E. Automation of CNC Machine Milling Operation Design Processes Based on Artificial Intelligence Elements. Informacionnye tehnologii v proektirovanii i proizvodstve. – 2023. – № 4(192). – pp. 51–59.
20. Chernyshev O.N., Chernyshev D.O., Sinegubova E.S. Preimushhestva ispol'zovanija 3D-tehnologij v derevoobrabotke. Derevoobrabotka: tehnologii, oborudovanie, menedzhment XXI veka : Trudy XVIII Mezhdunarodnogo evrazijskogo simpoziuma. – Ekaterinburg, 2023. – pp. 73–79.