

УДК 539.422.5

**В. Н. Гаранин, А. А. Гришкевич, А. Ф. Аникеенко, Д. Л. Болочко**  
Белорусский государственный технологический университет

**ТЕХНОЛОГИЯ ПРИМЕНЕНИЯ ФРЕЗЕРНОГО ИНСТРУМЕНТА  
С ПРЯМЫМИ НОЖАМИ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ  
КРИВОЛИНЕЙНЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ**

В работе представлена новая технология изготовления криволинейных (профильных) поверхностей на примере древесины сосны при ее фрезеровании прямыми ножами. Целью рассматриваемой работы является изучение возможности использования лезвий режущих элементов с прямыми режущими кромками, которые формируют криволинейные поверхности в изделиях из древесных материалов; определение возможных ограничений у дереворежущего фрезерного инструмента при его эксплуатации. Приведены данные по исследованию износостойкости инструмента, где реализована данная технология. Положительные результаты показывают на эффективность использования предлагаемой технологии, позволяющей значительно уменьшить издержки при формировании профильных поверхностей на древесине.

**Ключевые слова:** деревообработка, нож, профильная поверхность, износостойкость.

**V. N. Garanin, A. A. Grishkevich, A. F. Anikeenko, D. L. Bolochko**  
Belarusian State Technological University

**THE APPLICATION TECHNOLOGY OF THE MILLING TOOL  
WITH STRAIGHT KNIVES FOR THE MANUFACTURE  
OF CURVED SURFACES**

In this paper, a new technology for manufacturing profile surfaces with straight knives is presented, for example, in milling pine wood. The purpose of the presented work is to study the possibilities of using the proposed technology with the identification of various limitations of creation and operation on the example of the type of milling tool being considered. Data on the study of the wear resistance of the tool are presented, where this technology is implemented. Positive results show the effectiveness of using the proposed technology, which allows to significantly reduce costs when forming the profile surfaces of wood.

**Key words:** woodworking, knife, profile surface, wear resistance.

**Введение.** Производство изделий из древесины и древесных материалов (столярных изделий, корпусной и каркасной мебели и др.) в Республике Беларусь является традицией, которая корнями уходит в историю белорусов. Она неразрывно связана с лесистостью территории. Изготовление указанных изделий невозможно без механических операций над древесиной, среди которых выделяют процесс фрезерования. С его помощью получают как плоские, так и профильные поверхности. Получение профильных поверхностей при этом требует больших затрат, качественной подготовки инструмента, более высокого уровня специалистов и оборудования. В представленной работе обратим внимание на получение криволинейных поверхностей (рис. 1), часто называемых словом «блок-хаус». Рассмотрим направления по уменьшению ресурсов при получении указанного профиля, обеспечив при этом увеличение полного периода стойкости дереворежущего инструмента.

**Основная часть.** Для получения криволинейных поверхностей (типа «блок-хаус») в де-

ревообработке используются различные конструкции цилиндрических фрез с главной режущей кромкой, профилированной по соответствующей кривой (рис. 2).



Рис. 1. Криволинейная поверхность («блок-хаус»)

Преимуществами фрезы *a* (рис. 2) являются простота конструкции, сравнительно низкая стоимость. Основным же недостатком такого инструмента считаются фасонные ножи, которые сложно переточить. Данной конструкцией фрезы можно получить только один профиль. Ножи для таких фрез изготавливают, как правило, из стали Х6ВГ (Х12, ХВГ).

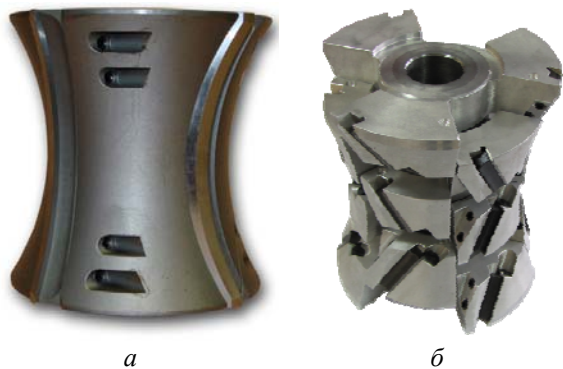


Рис. 2. Фрезы для получения криволинейных поверхностей:  
 а – фреза фирмы «Самсон»,  
 б – фреза фирмы «Иберус-Киев»

Фреза сборная (рис. 2, б) состоит из 5 секций. Для снижения массы инструмента корпус выполнен из легких инструментальных материалов. Фреза оснащена износостойкими ножами из твердого сплава. Преимущество ее – наличие сменных прямых ножей, которые легко затачиваются. Недостатки: сложная конструкция, большая стоимость и большое количество ножей.

Существуют и другие конструкции фрез для получения радиусных поверхностей [1].

При цилиндрическом фрезеровании инструментом (рис. 2, а) обрабатываемый материал с удаляемым припуском  $h$  (мм) подаются с постоянной скоростью  $V_s$  (м/мин) на вращающийся с окружной скоростью  $V$  (м/с) инструмент. При этом численное отношение  $V_s / V$  составляет от 30 до 100. Режущая кромка, формирующая поверхность обработки, расположена параллельно оси вращения инструмента, а направление подачи – перпендикулярно оси вращения. Передний угол при таком способе резания равен  $\gamma \geq 5$  град, задний угол  $\alpha \geq 15$  град. Угол заострения  $\beta$  режущей кромки выбирают в зависимости от вида обрабатываемого материала (береза, сосна, дуб, древесностружечная плита и т. д.) и расположения волокон обрабатываемого материала относительно вектора скорости резания [2].

Для изготовления наиболее распространенного в последнее время изделия в виде профильной доски используют ножи с криволинейной кромкой, формирующей при работе фигуру вращения с образующей в виде функции 2-го порядка. Недостатком такой технологии является сложность заточки ножей для фасонной обработки изделий. Для повышения производительности данного способа обычно используют инструмент, содержащий 2 и более лезвия. Их заточка и углы установки в корпус инструмента при этом должны совпадать с очень высокой точностью (не более 50 мкм).

В противном случае обрабатываемая поверхность приобретает сверхнормативную шероховатость, обусловленную различной глубиной проникновения лезвий в материал. Снижение качества обработки за счет увеличения шероховатости сопровождается увеличением процента некачественной продукции. Требуемая точность заточки обеспечивается только при использовании дорогостоящего специализированного оборудования, что приводит к существенному увеличению себестоимости продукции. Многократная переточка режущей кромки ведет к увеличению (накоплению) различий в геометрических профилях одного и того же комплекта ножей и дальнейшему снижению качества обрабатываемой поверхности. Срок службы комплекта ножей в данном случае определяется не только количеством переточек, но и накопленными различиями в изменении геометрического профиля режущей кромки. На сегодняшний день существует большое количество оборудования, которое позволяет подготавливать профильный инструмент для обработки древесины. С целью уменьшения издержек на подготовку ножей с криволинейными режущими кромками предлагается новое решение.

Сущность предлагаемого технического решения заключается в формировании требуемой фигуры вращения с образующей в виде функции 2-го порядка за счет непрерывных участков прямых лезвий, имеющих определенный угол наклона кромки. Это позволяет существенно упростить заточку ножей и повысить качество обрабатываемой поверхности за счет уменьшения размера микронеровностей, формируемых воздействием различным количеством ножей в составе одного и того же инструмента.

Установка прямой режущей кромки под углом  $\theta$  к направлению движения подачи приводит к тому, что радиус фигуры вращения, образованной этой кромкой, плавно меняется по ширине обрабатываемого материала на некоторую величину  $\Delta$ , зависящую от  $\theta$  (рис. 3). Чем больше  $\theta$ , тем больше кривизна образующей формируемой фигуры вращения и тем больше кривизна сопряженной с ней обрабатываемой поверхности. Величины  $\Delta$  и  $\theta$  связаны строгим математическим выражением, поэтому  $\theta$  легко определить, если задана величина изменения высоты профиля обрабатываемого материала на ширине  $B$ .

В большинстве случаев не требуется строгого соответствия формы профиля получаемой поверхности дуге окружности определенного радиуса. Заявляемый способ обеспечивает формирование профиля, близкого к параболе. Дуга этой параболы в данном случае очень близка по форме к дуге окружности.

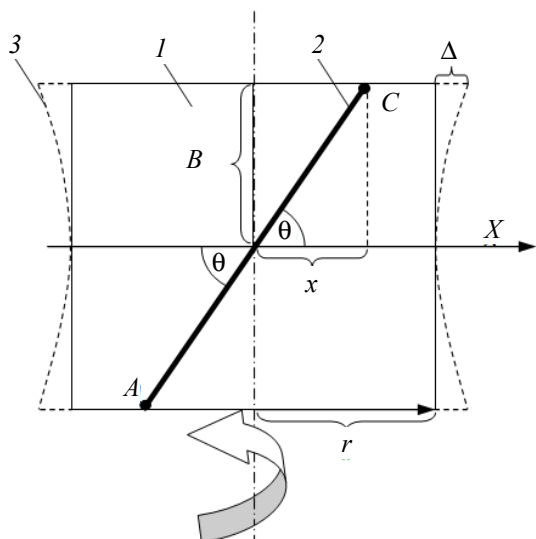


Рис. 3. Схема формирования радиуса фигуры вращения в продольном сечении фрезы:  
 1 – корпус фрезы; 2 – режущая кромка;  
 3 – образующая фигуры вращения;  
 $x$  – конечное смещение;  $\theta$  – угол наклона кромки;  
 $\Delta$  – изменение радиуса;  $B$  – ширина материала, на которой изменяется радиус вращения режущей кромки;  $A$  – точка врезания;  
 $C$  – точка выхода;  
 $X$  – направление движения подачи

Однако управлять кривизной дуги при реализации заявляемого способа очень легко путем изменения  $\theta$  без замены комплекта ножей. В случае же использования обычного инструмента изменение кривизны формируемой поверхности достигается только заменой комплекта ножей и, как правило, фрезы в целом. Заточка ножей с прямолинейной кромкой максимально проста и не требует сложного технологического оборудования, как в случае прототипа. Количество удаляемого материала при заточке прямой кромки меньше, чем при заточке криволинейной. Это связано с тем, что для точного воспроизведения исходного профиля криволинейной режущей кромки количество удаляемого материала обратно пропорционально косинусу угла, формируемого дугой криволинейной кромки, – с увеличением длины дуги и уменьшением радиуса ее кривизны количество материала, удаляемого при заточке, увеличивается. И если дуга опирается на угол, равный  $\pi$ , переточка с точным сохранением исходного профиля становится невозможной – по краям дуги удаление материала возможно только с увеличением радиуса кривизны. Таким образом, допустимое количество переточек ножей фрезы при использовании заявляемого способа фрезерования фасонных поверхностей возрастает за счет уменьшения количества удаляемого материала в процессе одного цикла заточки.

В результате общий срок службы ножей увеличивается. Кроме того, установка режущей кромки под углом к направлению движения подачи уменьшает составляющие силы резания. Воздействие режущей кромки на обрабатываемый материал протекает при постепенном внедрении участков лезвия в материал (от точки врезания на одном краю материала до точки выхода на другом). В случае с прототипом происходит одновременное внедрение лезвия в материал по всей ширине. Это позволяет уменьшить ударные нагрузки на режущую кромку и, соответственно, скорость ее износа, что позволяет дополнительно увеличить период стойкости инструмента. Установка ножей с прямыми кромками в корпус фрезы проще сложного процесса установки ножей с криволинейными кромками на одну окружность резания в составе одного комплекта.

Следует отметить, что согласно ГОСТ 25762-83 [3] необходимо различать статические и кинематические передние и задние углы резания ( $\gamma_c$ ,  $\alpha_c$ ,  $\gamma_k$ ,  $\alpha_k$  соответственно), которые измеряются в статической и кинематической системах координат.

Установка ножей под углом к направлению подачи материала ведет к уменьшению деформации стружки и повышению скорости обработки за счет уменьшения кинематического угла резания  $\delta_k$ . В то же время передний и задний углы в кинематической системе координат становятся переменными величинами в течение взаимодействия режущей кромки с материалом. В начальный момент времени в точке врезания  $\gamma_k$  минимален, по мере формирования стружки он возрастает и достигает максимума на выходе режущей кромки из материала. Задний угол  $\alpha_k$  в точке врезания максимален, по мере формирования стружки он уменьшается и достигает минимума на выходе режущей кромки из материала. Поскольку оптимальный режим резания обеспечивается при кинематических углах  $\alpha_k \geq 15$  град, а  $\gamma_k \geq 5$  град, то для обеспечения требуемой величины этих параметров  $\gamma_k \geq 5$  град задается в точке врезания, а  $\alpha_k \geq 15$  задается в точке выхода режущей кромки из обрабатываемого материала. Это позволяет осуществлять процесс фрезерования в оптимальных режимах по всей обрабатываемой поверхности.

Таким образом, предлагаемый способ существенно упрощает технологический процесс изготовления криволинейного профиля и позволяет повысить качество обрабатываемой поверхности.

На рис. 4 приведена схема поперечного сечения фрезы с ножом, установленным под углом к направлению подачи материала.

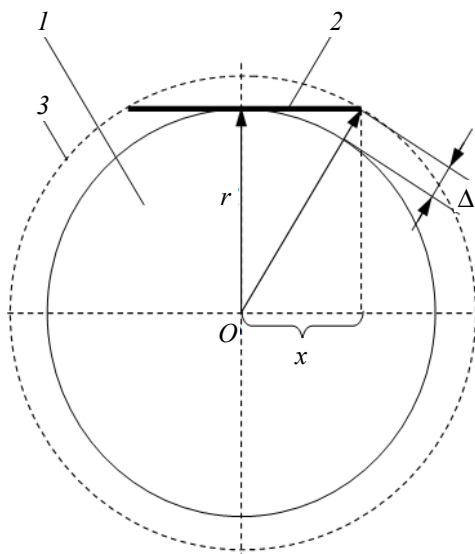


Рис. 4. Схема изменения радиуса резания в поперечном сечении фрезы:  
 1 – корпус фрезы; 2 – режущая кромка;  
 3 – окружность вращения с максимальным радиусом;  
 O – ось вращения; r – радиус в точке поворота ножа; Δ – изменение радиуса;  
 x – текущая координата

Согласно рис. 3 на корпус фрезы установлен нож с режущей кромкой под углом  $\theta$  к направлению движения подачи  $X$  обрабатываемого материала. Вращение режущей кромки вокруг оси вращения  $O$  формирует фигуру вращения с образующей в виде функции 2-го порядка. На оси вращения ножа радиус  $r$  получаемой кривой минимален. Радиус вращения текущей точки режущей кромки от оси вращения ножа до периферии изменяется, принимая максимальную величину у края материала или режущей кромки на величину  $r + \Delta$ . Направление вращения фрезы показано фигурной стрелкой. При подаче материала в направлении  $X$  режущая кромка врезается в материал. По мере вращения фрезы и одновременной подачи материала область взаимодействия режущей кромки с материалом перемещается по длине режущей кромки лезвия, при этом образуется криволинейная поверхность на материале, сопряженная с фигурой вращения.

Таким образом, при реализации заявляемого способа задаются требуемые параметры профиля шириной  $B$  и изменение конечного радиуса фигуры вращения, а затем с учетом радиуса  $r$  фигуры вращения рассчитывается требуемое значение угла наклона кромки  $\theta$ . Ножи устанавливаются в корпус фрезы с соблюдением заявляемых значений установочных углов  $\gamma$  и  $\alpha$ , после чего проводится обработка материала. Особенностью ширины  $B$  является то, что этот

параметр отражает не полную ширину материала, а лишь ту ее часть, на которой изменяется величина радиуса  $r$ .

При проектировании инструмента предлагается угол наклона кромки  $\theta$  к направлению подачи определять из выражения

$$\theta = \arctg \frac{B}{\sqrt{2r\Delta + \Delta^2}} \tag{1}$$

При этом минимальный радиус резания  $r$  определяется исходя из неравенства

$$r \geq \frac{V}{\omega} \tag{2}$$

где  $V$  – скорость резания материала, м/с;  $\omega$  – частота вращения шпинделя,  $c^{-1}$ .

При проектировании инструмента статический главный задний угол  $\alpha_c$  и статический главный передний угол  $\gamma_c$  на оси вращения ножа с радиусом резания  $r$  (с целью соблюдения на всей длине обработки профиля статических главных заднего и переднего углов  $\alpha_c > 10$  град и  $\gamma_c > 5$  град) необходимо выбрать исходя из следующих неравенств:

$$\gamma_k(0) \geq \arctg \left[ \operatorname{tg} \left( 5 \cdot \frac{\pi}{180} - \chi \right) \cdot \sin \theta \right] \tag{3}$$

$$\alpha_k(0) \geq \arctg \left[ \frac{\operatorname{tg} \left( 10 \cdot \frac{\pi}{180} + \chi \right)}{\sin \theta} \right] \tag{4}$$

где  $\chi = \arctg \frac{x \cdot \operatorname{ctg}(\theta)}{r}$ ;  $x$  – удаление осевой координаты режущей кромки согласно рис. 5 ( $x = [B / 2; -B / 2]$ ).

При этом должна обеспечиваться следующая зависимость (5):

$$\alpha_k(0) + \gamma_k(0) = \pi / 2 - \beta, \tag{5}$$

где  $\beta$  – угол заострения ножа согласно [3], рад.

**Постановка эксперимента.** Для выполнения испытаний предлагаемого способа обработки изделий из массива древесины была использована экспериментальная установка на базе машины Unimat 23EL, а также инструмент, который описан в работе [4]. Для изготовления были выбраны два профиля деталей с симметричной шириной ( $2B$ ) 20 см (изделия типа 1 и типа 2) при изменении высоты профиля ( $\Delta$ ) 5 мм (изделие типа 1) и 8 мм (изделие типа 2). Расчетные значения  $\theta$  при этом составили 69 и 63,5 град, соответственно. Обработку проводили на станке при скорости подачи 20 м/мин и скорости вращения инструмента 8000  $\text{min}^{-1}$ . Угол заострения ножа  $\beta$  составил 38 град.



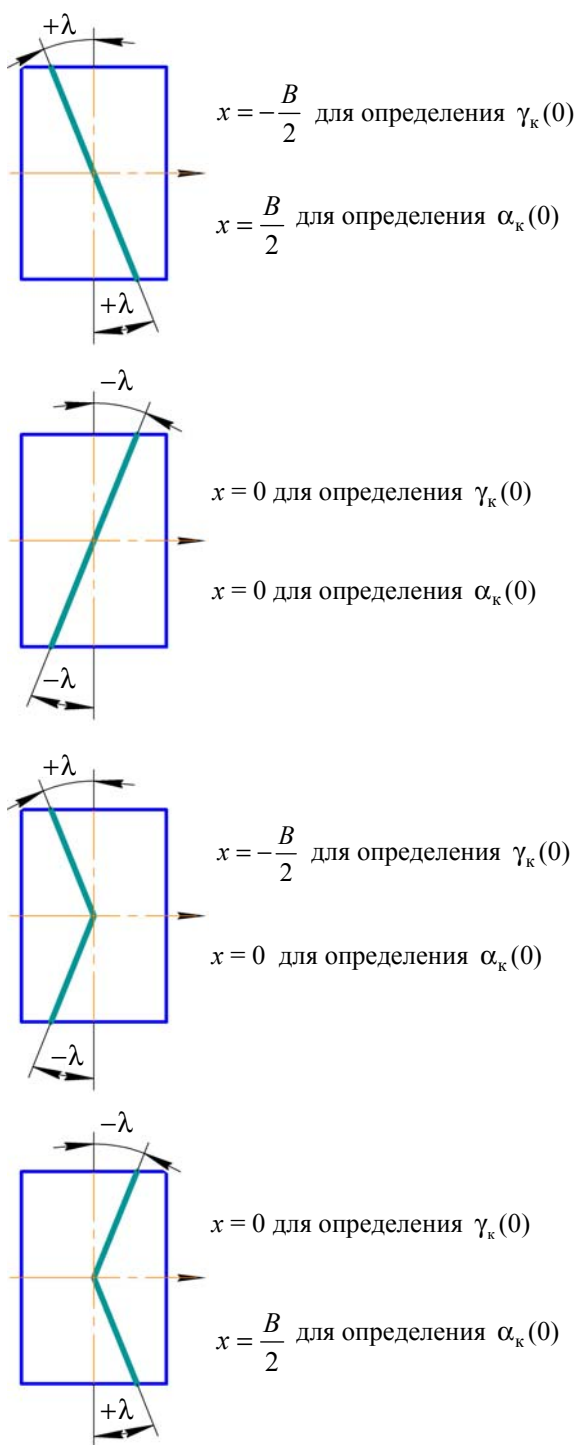


Рис. 5. Способ выбора  $x$  при определении углов по зависимостям (3) и (4)

В точке врезания задавали передний угол  $\gamma_k = 10$  град для изделий обоих типов. По мере вращения фрезы и образования стружки передний угол в точке взаимодействия ножа с обрабатываемым материалом увеличивается, что обеспечивает выполнение неравенства  $\gamma_k \geq 10$  град. Задний угол  $\alpha_k = 15$  град задавали в точке выхода ножа из обрабатываемого материала, когда он минимален, что обеспечивало

выполнение неравенства  $\alpha_k \geq 15$  град. Минимальный радиус ( $r$ ) фигуры вращения режущей кромки составил 150 мм, а минимальный припуск на обработку составил 2 мм. Качество сформированной поверхности определяли визуально с помощью лупы при трехкратном увеличении, а также путем измерения шероховатости на профилографе Hommel Tester T1000. Критерием качества обработки был выбран выход изделий высшего сортамента с шероховатостью  $R_{max}$  не более 80 мкм. Стойкость ножей до потери режущей способности (до переточки) определяли в погонных метрах обработанного материала на основании появления дефектов типа ворсистости, мшистости или прижегов. Общую стойкость ножей или срок службы определяли как произведение стойкости на количество переточек до полного износа.

Заточка ножей с плоской кромкой производится на универсально-заточном станке модели 3В642.

В процессе подготовки необходимо было обеспечить радиус округления режущих кромок 6–8 мкм (согласно работе [5]), постоянство угла заострения  $\beta (\pm 1^\circ)$ , прямолинейность кромок (0,05 мм на длине 1000 мм) и шероховатость заточенных поверхностей (параметр  $R_a$  не должен превышать 32–63 мкм). Ножи восстанавливались путем снятия слоя материала с его передней поверхности. Снятие слоя материала производилось периферией шлифовального круга чашечной формы (марка АС 100СМ1К8 ПП140×20×32). В этом случае площадь контакта круга с ножом минимальна и опасность перегрева уменьшется. Известно, что пластины из твердых сплавов типа ВК с низким содержанием связующего плохо магнитятся, что делает невозможным крепление их на магнитном столе. По этой причине пластины крепились механически при помощи поворотных тисков.

Контроль качества подготовки инструмента заключался в измерении угла заострения, равномерности ширины ножа и остроты режущей кромки. Угол заострения измеряли угломером с точностью до 0,10. Ширину ножа (мм) измеряли штангенциркулем у краев ножа. Разность результатов измерения делили на длину ножа (мм) и умножали на 1000. Относительная погрешность ширины не превышала 0,1 мм на длине 1000 мм.

При контроле прямолинейности нож прикладывали лезвием к поверочной плите. Щупами измеряли наибольший зазор между лезвием и плитой. Измеренная величина зазора, деленная на длину контролируемого участка (мм), не превышала 0,025. Для измерения глубины механических разрушений использовался инструментальный микроскоп с нижней подсветкой.

Таблица 1

## Сравнительные характеристики качества продукции

Тип ножей	Тип изделий	Количество продукции высшего сорта, %	Средняя стойкость ножей до восстановления, м пог.	Срок службы ножей, м пог.	Количество переточек
Плоские	1	95	6 549	124 431	19
	2	91	7 347	146 940	20
Профильные	1	73	5 352	80 280	15
	2	69	4 837	72 555	15

При проведении эксперимента стойкость инструмента во время обработки древесины со сны влажностью  $12 \pm 1\%$  определялась количеством обработанного материала после восстановления ножей до роста мощности на обработку на 50%. При этом визуально контролировалось качество обработанных поверхностей.

Результаты испытаний представим в таблице.

**Заключение.** Из приведенных данных видно, что предлагаемый способ обеспечивает более высокое качество обработки поверхности при одновременном увеличении стойкости но-

жей. Кроме того, поскольку трудоемкость переточки фасонных ножей выше, чем прямых, общие трудозатраты на восстановление стойкости инструмента при использовании заявляемого способа существенно ниже.

Таким образом, получение радиусных поверхностей прямыми ножами позволяет не только снизить трудозатраты на фрезерование, но также как и при использовании упрочняющих технологий повысить стойкость дереворежущего инструмента. Данный факт был отражен в заявке на патент [6].

## Литература

1. Кузнецов И. И. Способ обработки детали: патент 2351441 РФ. Оpubл. 10.04.2009. Бюлл. 10.
2. Кряжев Н. А. Фрезерование древесины. М.: Лесная пром-сть. 1979. 200 с.
3. Обработка резанием. Термины, определения и обозначения общих понятий: ГОСТ 25762-83. Введ. 01.07.84. М.: Госстандарт, 1983. 45 с.
4. Новая конструкция энергоэффективного фрезерного инструмента с изменяемыми углами передним и наклона кромки для обработки древесных материалов / А. А. Гришкевич [и др.] // Вестник БарГУ. Вып. 3. 2015.
5. Гриневиц С. А., Раповец В. В., Алифировец Г. В. Исследование затупления двухлезвийного режущего инструмента фрезерно-брусующих станков и его влияние на касательную силу резания // Труды БГТУ. 2015. № 2: Лесная и деревообраб. пром-сть. С. 258–262.
6. Способ изготовления профильных деталей из древесины и древесных материалов с использованием плоских ножей: Заявка №а 20170511 от 28.12.2017 (А. В. Белый, А. А. Гришкевич, В.Н. Гаранин, С.Ф. Сенько). 2017.

## References

1. Kuznetsov I. I. *Sposob obrabotki detali* [Method of processing details]. Patent RF, no. 2351441. 2009.
2. Kryazhev N. A. *Frezerovaniye drevesiny* [Wood milling]. Moscow, Lesnaya prom-st' Publ., 1979. 200 p.
3. GOST 25762-83. Cutting treatment. Terms, definitions and symbols of General concepts. Moscow, Gosstandart Publ., 1983. 45 p. (In Russian).
4. Grishkevich A. A., Rapovets V. V., Garanin V. N., Anikeenko A. F. New construction energy efficient milling tool with variable angles and a front bevel edge for processing wood-based materials. *Vestnik BarGU* [Bulletin of the Bargu], 2015, issue 3 (In Russian).
5. Grinevich S. A., Rapovets V. V., Alifirovets G. V. The research of blunting of double-blade cutter of chipper machines and its impact on tangential cutting force. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], 2015, no. 2: Forest and Woodworking Industry, pp. 258–262 (In Russian).
6. Grishkevich A. A., Garanin V. N., Sen'ko S. F. *Sposob izgotovleniya profil'nykh detaley iz drevesiny i drevesnykh materialov s ispol'zovaniyem ploskikh nozhey* [A method of manufacturing a profiled details from wood and wood materials using flat knives], no. 20170511, 2017.

## Информация об авторах

**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@wmt.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

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

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

#### **Information about the authors**

**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@wmt.by

**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

**Anikeenko Andrey Fedorovich** – 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: hasper@tut.by

**Bolochko Dmitriy Leonidovich** – Master of Engineering, 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

*Поступила 12.03.2018*