

## **ОСОБЕННОСТЬ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ПРОФИЛЬНЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ИЗ ДРЕВЕСИНЫ И ДРЕВЕСНЫХ МАТЕРИАЛОВ НОЖАМИ С ПРЯМОЛИНЕЙНОЙ РЕЖУЩЕЙ КРОМКОЙ**

А.А. Гришкевич, В.Н. Гаранин, Д.Л. Болочко

Белорусский государственный технологический университет  
г. Минск, Республика Беларусь

*В настоящей работе представлена новая технология изготовления профильных поверхностей прямыми ножами на примере фрезерования древесины сосны. Цель работы заключается в разработке технологии получения криволинейных (профильных) поверхностей лезвиями с прямыми режущими кромками, а также выявление различных ограничений при создании и эксплуатации такого фрезерного инструмента. Приведены данные по исследованию износостойкости инструмента, где реализована данная технология. Положительные результаты показывают эффективность использования предлагаемой технологии, позволяющей значительно уменьшить издержки при формировании профильных поверхностей из древесины и древесных материалов.*

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

## **PECULIARITY OF MANUFACTURING OF PROFILE SURFACES FROM WOOD AND WOOD MATERIALS BY KNIVES WITH STRAIGHT-LINE CUTTING EDGE**

A. A. Grishkevich, V. N. Garanin, D. L. Bolochko

Belarusian State Technological University,  
Minsk, Republic of Belarus

*In this paper, a new technology for manufacturing profile surfaces during milling pine wood with straight knives is presented. The aim of the work is to develop a technology for producing curved (profile) surfaces with blades with straight cutting edges, as well as identifying various limitations in the creation and operation of such a milling tool. Data on the investigation 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 of forming profile surfaces from wood and wood materials.*

**Keywords:** woodworking, knife, coating, wear resistance

**E-mail:** dosy@belstu.by

## Применяемый инструмент для получения криволинейных поверхностей

Для получения криволинейных поверхностей в деревообработке используются специальные конструкции хвостовых или насадных цилиндрических или конических фрез с рабочей частью режущей кромки, выполненной по заданной кривой.

На рис. 1, а представлена фреза для получения продукции с криволинейным профилем у погонажных изделий из древесины фирмы «Самсон».



Рис. 1. Фрезы для получения радиусных поверхностей  
а – фреза фирмы «Самсон»; б – фреза фирмы «Иберус-Киев»; в – фреза фирмы «Механик»

Преимуществом данной фрезы является сравнительно низкая стоимость, простота конструкции, но основным недостатком является фасонные сменные ножи, которые достаточно сложны в заточке. На данной фрезе можно получить только один вид профиля.

Ножи изготовлены из стали Х6ВГ (Х12, ХВГ).

Фреза сборная (рис. 1, б) состоит из 5 отдельных корпусов. Для снижения массы корпуса он выполнен из композиционного инструментального материала на основе алюминия. Фреза оснащена износостойкими ножами из керамического материала (твердого сплава группы ВК или ТК). Преимуществом такой конструкции инструмента является наличие сменных прямых ножей, которые легко переточить. Недостатком данной фрезы является повышенная себестоимость, большое количество ножей, сравнительно сложная конструкция.

Основным преимуществом конструкции фрезы (рис. 1, в) является возможность быстрой и надежной смены и фиксации ножей, а недостатком в то же время является необходимость замены фасонных ножей под каждый профиль.

Существуют и другие конструкции фрез для получения криволинейных (радиусных) поверхностей [1] на древесном материале.

При рассматриваемом способе цилиндрического фрезерования [2] обрабатываемый материал подают с постоянной скоростью  $V_s$  (м/мин) на вращающийся с окружной скоростью  $V$  (м/с) инструмент так, что численное отношение  $V_s / V$  составляет от 30 до 100. Режущая кромка, формирующая поверхность, расположена параллельно оси вращения инструмента, а направление подачи перпендикулярно оси вращения. При этом передний угол  $\gamma \geq 5$  град, задний угол  $\alpha \geq 15$  град и угол заострения  $\beta$  лезвия устанавливают в зависимости от вида обрабатываемого материала (береза, сосна, дуб, древесно-стружечная плита и т.д.) и расположения волокон.

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

изделия. Для повышения производительности такого способа обычно используют инструмент, содержащий 2 и более лезвия. Их заточка и углы установки в корпус инструмента при этом должны совпадать с достаточно высокой точностью (не больше 50 мкм). В противном случае обрабатываемая поверхность приобретает сверхнормативную шероховатость, обусловленную различной глубиной проникновения лезвий в материал. Ухудшение качества обработки за счет увеличения шероховатости сопровождается увеличением процента брака. Требуемая точность заточки обеспечивается только при использовании дорогостоящего специализированного оборудования, что приводит к существенному увеличению себестоимости продукции. Многократная переточка режущей кромки приводит к увеличению (накоплению) различий в геометрических профилях одного и того же комплекта ножей и дальнейшему ухудшению 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. Однако с целью уменьшения издержек на подготовку инструмента, имеющего радиусную форму и предназначенного для изготовления профильных поверхностей, 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 режущих кромок лезвий, имеющих определенный угол наклона кромки. Это позволяет существенно упростить заточку ножей и повысить качество обрабатываемой поверхности за счет уменьшения размера микронеровностей, формируемых воздействием различных ножей в составе одного и того же инструмента.

Установка прямой режущей кромки под углом  $\theta$  к направлению подачи приводит к тому, что радиус фигуры вращения, образованной этой кромкой, плавно меняется по ширине обрабатываемого материала на некоторую величину  $\Delta$ , зависящую от угла  $\theta$  (рис. 2). Чем больше угол наклона лезвия  $\theta$ , тем больше кривизна образующей, которая формирует фигуру вращения, и тем больше кривизна сопряженной с ней обработанной поверхностью. Величины  $\Delta$  и  $\theta$  связаны строгим математическим выражением, поэтому  $\theta$  легко определить, если задана величина изменения высоты получаемого профиля изделия на ширине  $B$ .

В реальном производстве в большинстве случаев не требуется строгого соответствия формы профиля обрабатываемой 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. 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. Припуск при заточке прямой режущей 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  $\pi$ , то переточка с точным сохранением исходного профиля становится невозможной – по краям дуги удаление материала возможно только с увеличением радиуса кривизны. Таким образом, допустимое количество переточек лезвий ножей при использовании заявляемого способа получения фасонных поверхностей методом фрезерования увеличивается за счет уменьшения припуска в процессе одного цикла заточки. В результате полный период стойкости ножей возрастает. Кроме того, установка режущей кромки под углом к направлению подачи уменьшает деформацию срезаемого материала, а значит нормальные составляющие силы резания. Воздействие режущей кромки с обрабатываемым материалом протекает последовательно, от точки врезания на одном краю материала до точки выхода на другом, а не одновременно по всей ширине, как в случае прототипа, т.е. растягивается во времени. Это уменьшает ударные нагрузки на режущую кромку и, соответственно, скорость ее износа, что повышает период стойкости инструмента. Расположение ножей с прямой кромкой в корпус фрезы гораздо проще, чем с фасонной, это связано, прежде всего, с их установкой и выверкой на окружность резания.

Установка ножей под углом к направлению подачи уменьшает удельное давление на лезвие инструмента и кинематический угол резания  $\delta$ . В то же время передний и задний углы становятся переменными величинами в течение взаимодействия режущей кромки с материалом. В начальный момент времени в точке врезания передний угол  $\gamma$  минимален, а по мере формирования стружки он увеличивается и достигает максимума на выходе режущей кромки из материала. Задний угол  $\alpha$  в точке врезания максимален, но по мере формирования стружки он уменьшается и достигает минимума на выходе режущей кромки из материала. Поскольку оптимальный режим резания обеспечивается при  $\alpha \geq 15$  град, а  $\gamma \geq 5$  град, то для обеспечения требуемой величины этих параметров  $\gamma \geq 5$  град задается в точке врезания, а  $\alpha \geq 15$  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 фасонного профиля и повышает качество обрабатываемой поверхности.

На рис. 3 приведена схема поперечного сечения фрезы с ножом, расположенным под углом к направлению подачи.

На корпус фрезы 1 установлен нож с режущей кромкой 2 под углом  $\theta$  к направлению подачи  $X$ . Вращение режущей кромки 2 вокруг оси  $O$  формирует фигуру вра-

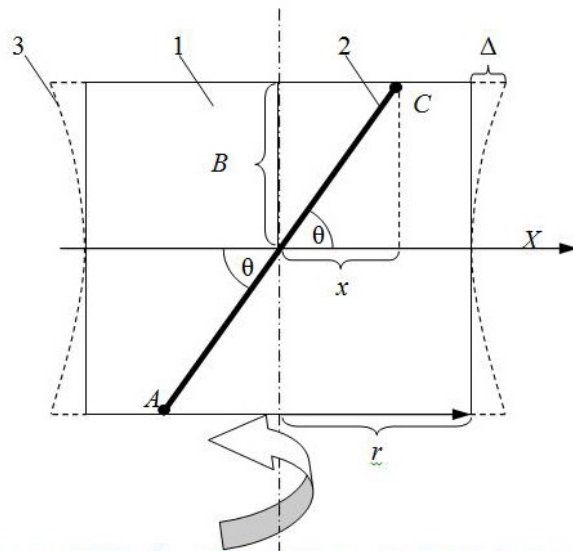


Рис. 2. Схема формирования радиуса фигуры вращения в продольном сечении фрезы:  $x$  – конечное смещение;  $\theta$  – угол наклона кромки;  $\Delta$  – изменение радиуса;  $B$  – ширина материала, на которой изменяется радиус вращения режущей кромки;  $A$  – точка врезания;  $C$  – точка выхода;  $X$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

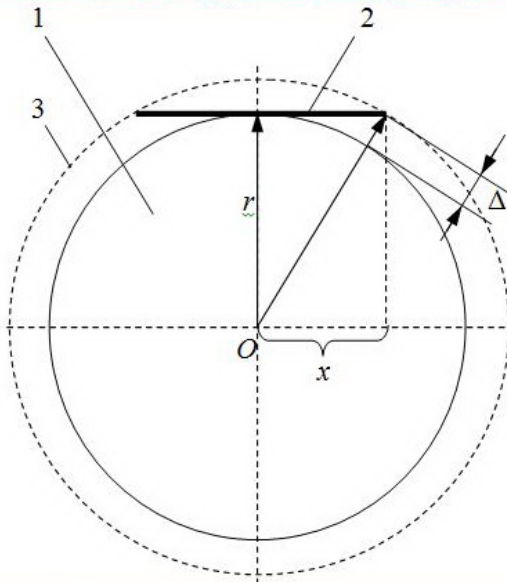


Рис. 3. Схема поперечного сечения фрезы:  
 1 – корпус фрезы; 2 – режущая кромка;  
 3 – траектория резания.  $O$  – ось вращения;  
 $r$  – радиус резания точки режущей кромки;  
 $\Delta$  – изменение радиуса;  $x$  – текущее смещение

щения 3, определяющую криволинейную траекторию резания. На вогнутом участке радиус  $r$  фигуры вращения 3 минимален. Изменение радиуса  $\Delta$  фигуры вращения 3 на ширине  $B$  обрабатываемого материала при приближении к периферийной части обусловлено смещением  $x$  края режущей кромки в направлении подачи  $X$ . Направление вращения фрезы показано фигурной стрелкой. При подаче обрабатываемого материала в направлении  $X$  режущая кромка врезается в материал в точке врезания. По мере вращения фрезы и подачи материала область взаимодействия режущей кромки с обрабатываемым материалом смещается по длине фрезы в точку выхода  $C$ , при этом образуется фасонная поверхность материала, сопряженная с фигурой вращения 3.

Таким образом, при реализации заявляемого способа задаются требуемые параметры профиля ширина  $B$  и изменение радиуса  $\Delta$  фигуры вращения, а затем с учетом радиуса  $r$  фигуры вращения рассчитывается требуемое значение угла подачи  $\theta$ . 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 предлагаемого решения угол наклона кромки  $\theta$  к направлению подачи, необходимо определять из выражения:

$$\theta = \text{arctg} \frac{B}{\sqrt{2r\Delta + \Delta^2}}. \quad (1)$$

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

$$r \geq \frac{V}{\omega}, \quad (2)$$

где  $V$  – скорость главного движения, м/с;

$\omega$  – частота вращения шпинделя,  $\text{с}^{-1}$ .

При проектировании инструмента кинематический главный задний угол  $\alpha_k$  и кинематический главный передний угол  $\gamma_k$  на радиусе резания  $r$  (с целью соблюдения на всей длине обработки профиля статических главных заднего и переднего углов  $\alpha_c \geq 10$  град и  $\gamma_c \geq 5$  град) необходимо определить исходя из следующих неравенств:

$$\gamma_k(0) \geq \text{arctg} \left[ \text{tg} \left( 5 \cdot \frac{\pi}{180} - \text{arctg} \frac{x \cdot \text{ctg}(\theta)}{r} \right) \cdot \sin \theta \right], \quad (3)$$

$$\alpha_k(0) \geq \operatorname{arctg} \left[ \frac{\operatorname{tg}(10 \cdot \frac{\pi}{180} + \operatorname{arctg} \frac{x \cdot \operatorname{ctg} \theta}{r})}{\sin \theta} \right], \quad (4)$$

где  $x$  принимает значения от  $B/2$  до  $-B/2$  согласно рис. 4.

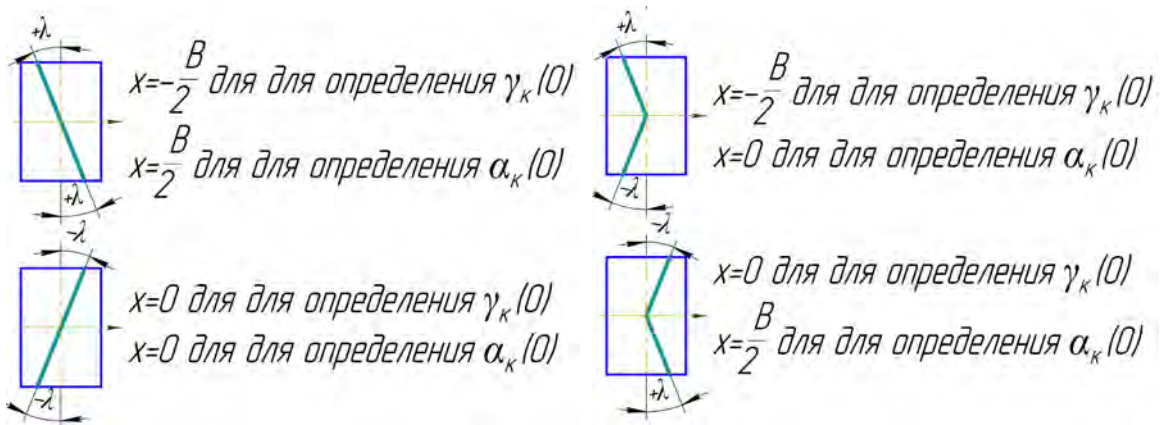


Рис. 4. Способ выбора  $x$  при определении углов

При этом должна обеспечиваться следующая зависимость:

$$\alpha_k(0) + \gamma_k(0) = \pi/2 - \beta,$$

где  $\beta$  – угол заострения ножа согласно ГОСТ 25 762-83 [3], рад.

### Постановка эксперимента

Для выполнения испытаний предлагаемого способа при обработке изделий из массива древесины была использована экспериментальная установка Unimat 23EL, которая описана в работе [4]. Для эксперимента были выбраны два профиля деталей с симметричным профилем 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 угла  $\theta$  при этом составили  $69^\circ$  и  $63,5^\circ$ , соответственно. Обработку проводили при скорости подачи 20 м/мин и скорости вращения инструмента  $8000 \text{ мин}^{-1}$ . Угол заострения ножа  $\beta$  составил  $38^\circ$ .

В точке врезания задавали передний угол  $\gamma = 10^\circ$  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  $\gamma \geq 10^\circ$ . Задний угол  $\alpha = 15^\circ$  задавали в точке выхода ножа из обрабатываемого материала, когда он минимален, что обеспечивало выполнение неравенства  $\alpha \geq 15^\circ$ . 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 вида ворсистости, мшистости или прижогов. Полный период стойкости ножей определяли как произведение периода стойкости на количество переточек до полного износа.

## Подготовка ножей

Заточка ножей с прямой режущей кромкой проводится на универсально-заточном станке модели ЗВ642 (рис. 5).

Станок выполнен с вертикальным перемещением шлифовальной головки, продольным и поперечным перемещением стола и нижним расположением привода шпинделя. Все механизмы станка смонтированы внутри и на верхней плоскости станины. Рабочее место в зависимости от характера работы может находиться либо спереди станка, либо слева или справа, в соответствии с тем, как размещены органы управления.



Рис. 5. Общий вид станка ЗВ642



Рис. 6. Схема заточки инструмента

В процессе заточки были обеспечены требуемые: острота режущих кромок ( $\rho = 6 \div 8$  мкм); постоянство угла заострения  $\beta (\pm 1^\circ)$ ; прямолинейность кромок (0,05 мм на длине 1000 мм); шероховатость заточенных поверхностей (параметр  $R_a$  не должен превышать  $32 \div 63$  мкм).

Выполнение этих требований обеспечено правильным выбором вида и технологии заточки, типа заточного станка.

В нашем случае ножи восстанавливаются путем удаления слоя материала с передней поверхности лезвия. Припуск удаляется периферией шлифовального круга. В этом случае площадь контакта круга с ножом минимальна и опасность перегрева уменьшается. Пластины из твердых сплавов плохо фиксируются на магнитных опорах, поэтому крепление проводилось механически при помощи трёх поворотных тисков (рис. 6).

Для восстановления режущей способности пластин из твердого сплава были использованы алмазные шлифовальные круги марки АС 100СМ1К8 ПП140x20x32.

Контроль качества подготовки инструмента заключался в измерении угла заострения, равномерности ширины ножа и остроты режущей кромки. Угол заострения измеряли угломером с точностью до  $0,1^\circ$ . 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 выкрошин использовался инструментальный микроскоп с нижней подсветкой.

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

## Результаты испытаний

Результаты испытаний приведены в табл. .

Табл. 1.

### Сравнительные характеристики качества продукции

Способ фрезерования	Тип изделий	Количество продукции установленного качества, %	Средняя стойкость ножей до переточки, м. пог.	Количество обработанного материала, м. пог.	Примечания
Предлагаемый	1	95	6549	124431	19 переточек
	2	91	7347	146940	20 переточек
Классический	1	73	5352	80280	15 переточек
	2	69	4837	72555	15 переточек

Из приведенных данных видно, что предлагаемый способ обеспечивает более высокое качество обработки поверхности при одновременном увеличении стойкости ножей. Кроме того, поскольку трудоемкость переточки фасонных ножей выше, чем прямых, общие трудозатраты на восстановление стойкости инструмента при использовании заявляемого способа ниже.

Таким образом, получение радиусных поверхностей прямыми ножами позволяет не только уменьшить трудозатраты на фрезерование, но также как и при использовании упрочняющих технологий увеличить период стойкости дереворежущего инструмента. Данный факт был отражен в заявке на патент [5].

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Кузнецов, И.И. Способ обработки детали Патент России 2 351441 / И.И. Кузнецов // Оpubл. 10.04.2009. Бюлл. 10.
2. Кряжев, Н.А. Фрезерование древесины / Н.А. Кряжев. – М.: Лесная промышленность. 1979. 200 с. (С.7–11, 89–93. Прототип).
3. Обработка резанием. Термины, определения и обозначения общих понятий: ГОСТ 25762-83 – Введ. 01.07.84. – Москва: Госстандарт, 1983. – 45 с.
4. Влияние ионно-лучевого азотирования дереворежущего инструмента, изготовленного из быстрорежущей стали, на период его стойкости /А. В. Белый [и др.] // Труды БГТУ. – 2016. – Сер II (184): Лесная и деревообработ. пром-сть. – С. 266–269.
5. Заявка №а20170511 от 28.12.2017г. «Способ изготовления профильных деталей из древесины и древесных материалов с использованием плоских ножей» / А.В. Белый [и др.].

#### REFERENCES

1. Kuznecov I.I. Sposob obrabotki detali [Method of processing parts] Patent of Russia 2351441, publ. 10.04.2009. Byull. 10. (in Russian)
2. Kryazhev N.A. Frezerovanie drevesiny [Wood milling] Moscow, Lesnaya promyshlennost'. 1979, 200 p. (in Russian)
3. Obrabotka rezaniem. Terminy, opredeleniya i oboznacheniya obshchih ponyatij [Machining by cutting. Terms, definitions and notation of general concepts], GOST 25762-83, 01.07.84, Moscow, Gosstandart, 1983, 45 p. (in Russian)
4. Byeli A.V. [et al.] Vliyanie ionno-luchevogo azotirovaniya derevorezhushchego instrumenta, izgotovlennogo iz bystrorezhushchej stali, na period ego stojkosti [Effect of ion-beam nitriding of a wood-cutting tool made of high-speed steel for the period of its resistance], Trudy BGTU, 2016, Ser II (184): Lesnaya i derevoobrab. prom-st' [Wood and woodworking industry], pp. 266–269. (in Russian)
5. Byeli A.V. [et al.] Sposob izgotovleniya profil'nyh detalej iz drevesiny i drevesnyh materialov s ispol'zovaniem ploskih nozhej, App. №а20170511, 28.12.2017. (in Russian)

Статья поступила в редакцию в окончательном варианте 14.04.18