

УДК 674.055:621.934(043.3)

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

Белорусский государственный технологический университет

**РЕЖИМЫ ЭКСПЛУАТАЦИИ РЕФЛЕКТОРНОГО ФРЕЗЕРНОГО ИНСТРУМЕНТА
С ПОДВИЖНЫМ ДЕРЖАТЕЛЕМ НОЖА**

Резание древесины и древесных материалов с использованием лезвийного инструмента является одним из основных видов обработки при изготовлении мебели, столярных изделий, получении щепы и в других производствах. Механическая обработка древесины и древесных материалов методом фрезерования занимает в этих технологических процессах одно из ведущих мест. Однако обеспечение качества и производительности оборудования с применением существующих технологий обработки древесины связано с необходимостью использования разнообразного дереворежущего инструмента и больших затрат электроэнергии.

Одним из эффективных направлений решения указанных проблем является придание инструменту возможности изменения углов резания и осевого угла при переходе с одних режимов резания на другие, что позволит уменьшить энергию на деформацию удаляемого слоя и повысить ресурс работы инструмента.

В связи с этим на кафедре деревообрабатывающих станков и инструментов спроектирована и изготовлена фреза, у которой есть возможность изменять углы резания и осевой угол одновременно. Это позволит уменьшить мощность на резание, повысить качество обработанной поверхности и увеличить период стойкости инструмента.

Ключевые слова: фрезерование, рефлекторная фреза, нож, стойкость, мощность, осевой угол, расчетная схема.

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

Belarusian State Technological University

**THE MODES OF OPERATION OF THE REFLEX MILLING TOOL
WITH THE MOBILE HOLDER OF THE KNIFE**

Cutting of wood and wood materials with the using of blade tool is one of main types of processing at production of furniture, joiner's products, chip production and in other manufactures. Machining of wood and wood materials by method of milling occupies one of the leading places in these technological processes. However ensuring quality and productivity of the equipment with use of the existing technologies of processing of wood is connected with need of using various types of woodcutting tools and big expenses of the electric power.

One of the effective ways to solve these problems is to enable the tool to change the cutting angles and the axial angle when changing from one cutting mode to another. This will allow to reduce the energy for deformation of the removed layer and to increase the service life of the tool.

In this case at the department of woodworking machines and tools the mill, which has an opportunity to change the angles of cutting and an axial angles simultaneously is designed and made. It will allow to reduce power by cutting, to increase quality of the processed surface and to increase the tool life period.

Key words: milling, reflex mill, knife, durability, power, axial angle, design scheme.

Введение. Обеспечение безопасной эксплуатации фрезерного инструмента в деревообработке является важной задачей, связанной с использованием высоких скоростей во время обработки древесных материалов. Применение простых и надежных конструкций не всегда оправдано в современных условиях, поскольку деревообработчики постоянно пытаются снизить издержки производства, расширяя ассортимент выпускаемой продукции за счет увеличения возможностей эксплуатации инструмента. Над развитием таких инструментов и работают на кафедре деревообрабатывающих станков и инструментов. Например, в работе [1]

представлена конструкция фрезерного рефлекторного инструмента, которая состоит из корпуса и двух подвижных держателей ножа. Определенная универсальность инструмента имеет и свои недостатки, связанные с необходимостью выполнения расчетов на устойчивость во время обработки материала и разгона (торможения).

Таким образом, в представленной работе делается акцент на необходимость использования фиксирующих элементов, что подтверждается дальнейшими теоретическими и экспериментальными данными. В работе решаются следующие задачи:

1. На основании 3D-модели определяются моменты сил инерции, действующие на подвижные элементы во время разгона (торможения) инструмента.

2. Разрабатывается 3D-модель обработки материала фрезерного инструмента с рефлекторными свойствами.

3. Определяются силы, возникающие в процессе фрезерования древесины инструментом с рефлекторными свойствами.

4. Проводятся расчеты по определению закономерностей поведения инструмента с рефлекторными свойствами в режиме обработки материала.

5. Делается вывод о возможности использования разработанной 3D-модели фрезерного инструмента в режиме резания материала.

Основная часть. На рис. 1 представлена конструкция рефлекторного инструмента с изменяемыми угловыми параметрами.

Держатель ножа, на котором крепится нож, является частью шара и контактирует с правым и левым корпусами по части сферической поверхности. Ввиду этого он имеет три вращательные степени свободы относительно корпуса фрезы, что обеспечивает широкие возможности по установке ориентации ножа как для целей научных исследований, так и при использовании в производстве с целью оптимизации процессов обработки заготовок.

В работе [2] представлены данные по моментам и силам, действующим на разборный элемент рассматриваемого инструмента.

На основании ранее выполненных расчетов предлагается использование углов Эйлера с центром координат в плоскости, находящейся на оси вращения инструмента. Предлагаемая модель позволяет определить реакцию связи корпуса инструмента с подвижным сектором от условий эксплуатации и изучить особенности взаимодействия адаптивного инструмента с обрабатываемым древесным материалом.

По результатам расчета программой Mathcad были построены графики зависимостей моментов инерции от углов и сделаны следующие выводы:

1) момент силы инерции меняет свое значение при изменении углов в диапазоне от -4° до 4° ;

2) максимальный момент силы инерции достигается при осевом угле 0° и равен $580,829 \text{ Н}\cdot\text{м}$.

Для более точного анализа работы инструмента необходимо произвести расчет при его работе с материалом. Для этого была составлена расчетная схема данного условия работы (рис. 2).

В первую очередь необходимо определить силы, действующие на инструмент во время работы. Для этой цели используем экспериментальную установку Unimat 23EL, характеристики которой представлены в [3]. На рис. 3 приведены графики зависимостей изменения радиальной F_x , осевой F_z и касательной составляющих силы резания F_y от осевого угла φ при постановке экспериментов по фрезерованию древесины сосны.

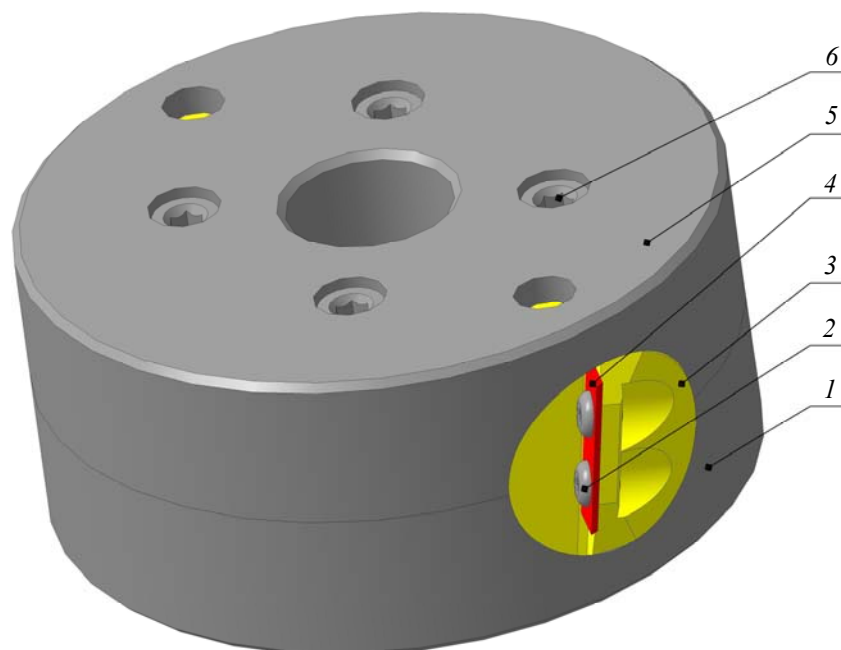


Рис. 1. Общий вид фрезы рефлекторной:

1 – корпус левый; 2 – винт для крепления ножа; 3 – держатель ножа;
4 – нож (угол заточки 40°); 5 – корпус правый; 6 – винт для фиксации частей корпуса

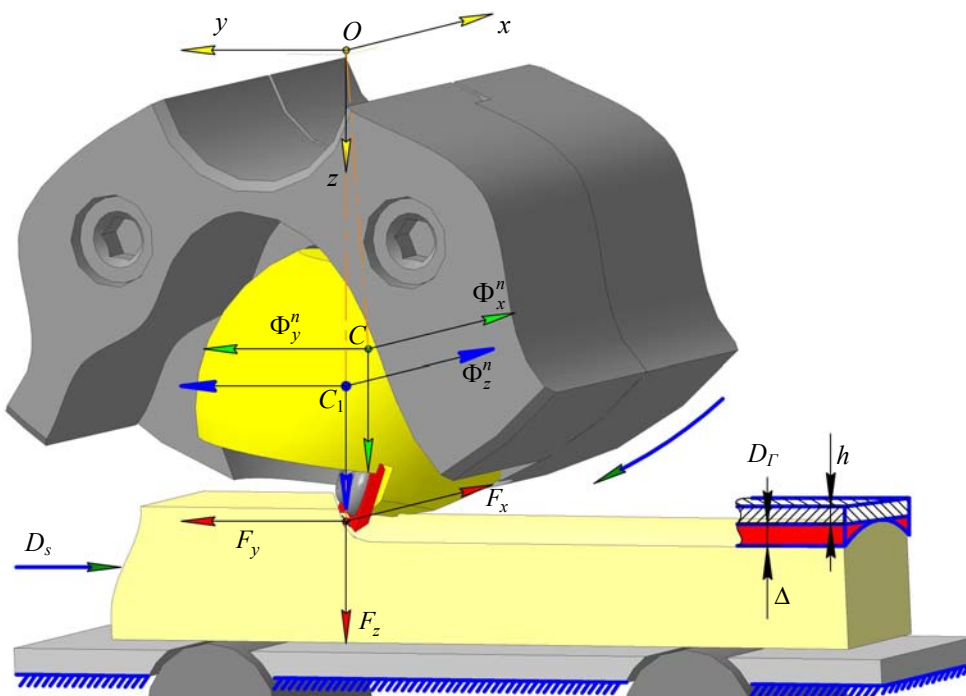
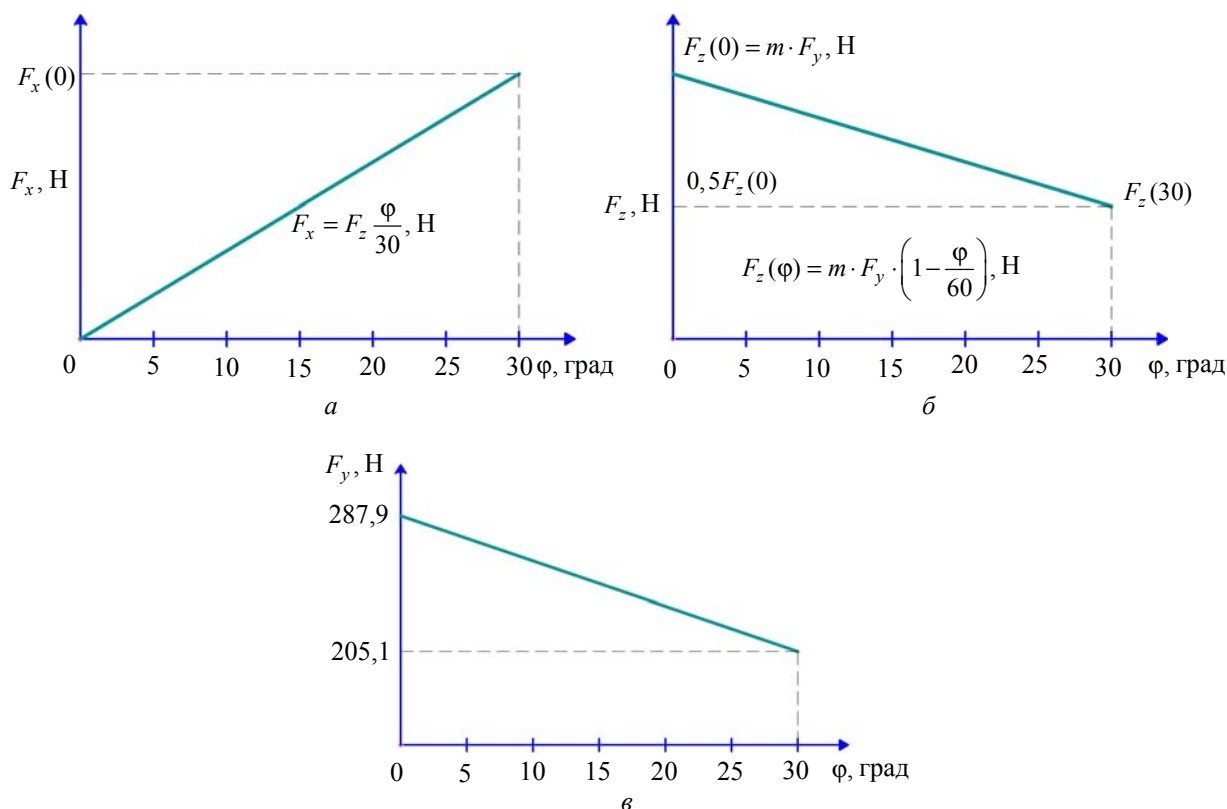


Рис. 2. Расчетная схема фрезы в режиме обработки материала

Рис. 3. Графики зависимостей сил от осевого угла φ :а – зависимость радиальной силы F_x , Н, от осевого угла φ , град;б – зависимость осевой силы F_z , Н, от осевого угла φ , град;в – зависимость касательной составляющей силы резания F_y , Н, от осевого угла φ , град

В программе MathCad произведем расчет сил и моментов инерции в режиме обработки.

Координаты центра тяжести сектора в матричном виде запишем следующим образом, м:

$$x = \begin{pmatrix} 0 \\ -0,00068 \\ -0,00336 \end{pmatrix} = \overline{CC_1}. \quad (1)$$

Нормальная сила инерции, Н

$$\Phi_n = \begin{pmatrix} \Phi_x^n \\ \Phi_y^n \\ \Phi_z^n \end{pmatrix}. \quad (2)$$

Момент силы инерции относительно центра масс в режиме обработки материала, Н·м

$$M_{c1}^\phi = \Phi_n \times CC_1. \quad (3)$$

Расстояние от центра поворота сектора до точки на режущей кромки инструмента, м

$$C_1 O = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0.025 \end{pmatrix}. \quad (4)$$

Момент сил резания относительно центра масс в режиме обработки материала, Н·м

$$M_{cl}^{Fp} = \begin{pmatrix} F_x \\ F_y \\ F_z \end{pmatrix} \times C_1 O. \quad (5)$$

Суммарный момент от сил инерции и сил резания, Н·м

$$M = M_{cl}^{\phi} + M_{cl}^{Fp}. \quad (6)$$

В табл. 1 представлены результаты расчета программой MathCad.

При повороте ножа в осевом направлении мы сталкиваемся с тем, что нож врезается в материал не всей длиной режущей кромки, а постепенно на входе в материал и при его выходе. В связи с этим возникает необходимость определения моментов от сил резания при входе и выходе ножа из материала.

Таблица 1

Результаты расчета

При работе всего ножа в материале			
φ , град	M_x , Н·м	M_y , Н·м	M_z , Н·м
0	-4,75	0	0
5	-4,75	-0,55	0
10	-4,75	-1,0	0
15	-4,75	-1,35	0
20	-4,75	-1,6	0
25	-4,75	-1,75	0
30	-4,75	-1,8	0

На рис. 4 представлена расчетная схема для определения моментов от сил резания при входе и выходе ножа.

Рассмотрим случай, когда нож внедряется в материал.

Расстояние от центра поворота сектора до точки входа ножа в материал, м, запишем в виде зависимости (7).

Момент сил резания относительно центра поворота сегмента при входе ножа в материал находим по зависимости (5), где вместо вектора C_1O_1 будет вектор C_1O_2 .

$$C_1 O_2 = \begin{pmatrix} -\frac{b}{2} \\ \frac{b}{2} \cdot \sin(\varphi) \\ 0,025 \end{pmatrix}. \quad (7)$$

В табл. 2 представлены результаты расчета моментов сил резания в зависимости от осевого угла при входе ножа в материал.

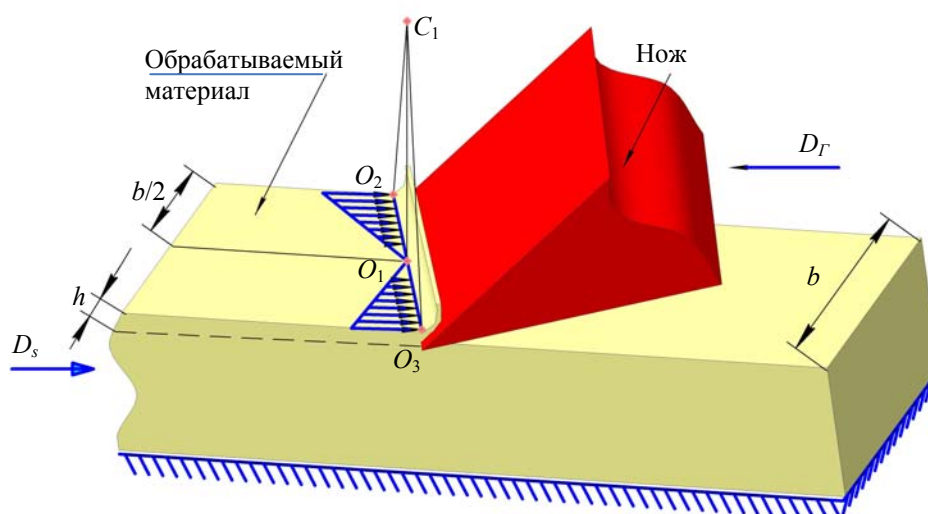


Рис. 4. Расчетная схема для определения моментов от сил резания при входе и выходе ножа в процессе обработки материала

Таблица 2

Результаты расчета

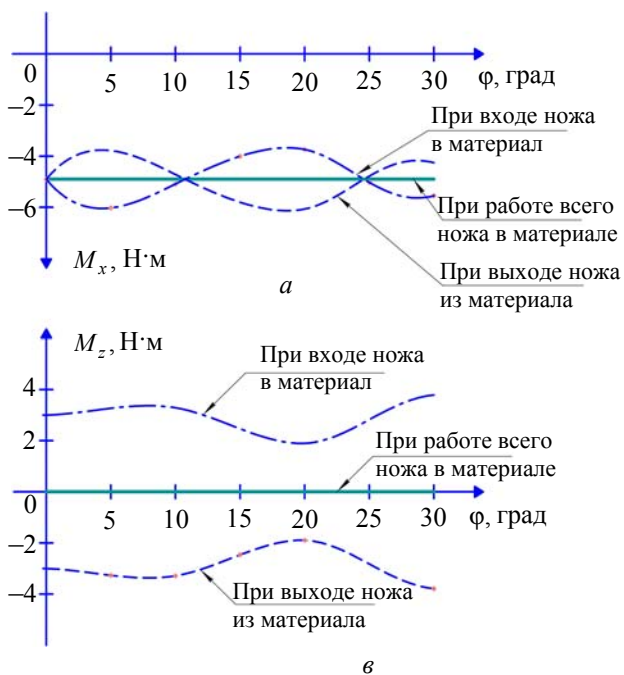
При входе ножа в материал			
φ, град	M_x , Н·м	M_y , Н·м	M_z , Н·м
0	-4,75	1,44	2,88
5	-6,017	0,77	3,091
10	-5,404	0,2	3,097
15	-4,05	-0,27	2,53
20	-3,875	-0,64	2,3
25	-4,86	-0,91	2,97
30	-5,46	-1,08	3,59

Рассмотрим другой случай, когда нож выходит из материала.

Расстояние от центра поворота сектора до точки выхода ножа из материала запишем в виде (8), м:

$$C_1O_3 = \begin{pmatrix} \frac{b}{2} \\ -\frac{b}{2} \cdot \sin(\varphi) \\ 0,025 \end{pmatrix}. \quad (8)$$

Момент сил резания относительно центра поворота сегмента при входе ножа в материал



находим по зависимости (5), где вместо вектора C_1O_1 будет вектор C_1O_3 .

Суммарный момент от сил инерции и сил резания при входе и выходе ножа из материала определяем по зависимости (6).

В табл. 3 представлены результаты расчета моментов сил резания в зависимости от осевого угла при выходе ножа из материала.

Таблица 3

Результаты расчета

При выходе ножа из материала			
φ, град	M_x , Н·м	M_y , Н·м	M_z , Н·м
0	-4,75	-1,44	-2,88
5	-3,486	-1,87	-3,091
10	-4,1	-2,2	-3,097
15	-5,454	-2,43	-2,53
20	-5,628	-2,56	-2,3
25	-4,64	-2,59	-2,97
30	-4,04	-2,52	-3,59

Для анализа результатов расчета построим графики зависимостей моментов сил резания от осевого угла для трех случаев работы ножа (рис. 5).

Проанализировав графики зависимостей моментов сил резания от осевого угла, видим, что максимальный момент составляет 6 Н·м.

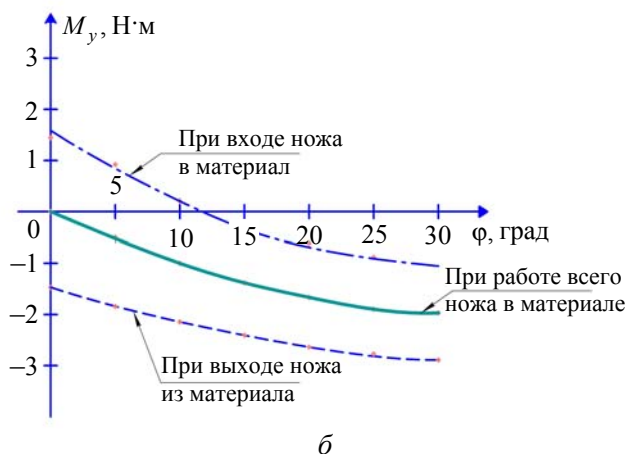


Рис. 5. Графики зависимостей моментов сил резания от осевого угла:

а – зависимость момента M_x , Н·м, от осевого угла φ , град;

б – зависимость момента M_y , Н·м, от осевого угла φ , град;

в – зависимость момента M_z , Н·м, от осевого угла φ , град

Выводы. Моделирование процесса механической обработки материала фрезерным инструментом с ножом, имеющим прямолинейную режущую кромку, показывает на несущественное влияние площади снимаемого профиля на силу резания при повороте осевого угла λ . Снижение касательной составляющей силы резания при увеличении λ с 0 до 30° значительно превышает ее рост при одновременном увеличении площади снимаемого профиля. Дальнейшее увеличение угла (выше 30°) не ведет к уменьшению мощности. Это связано с тем, что при осевом повороте ножа увеличивается площадь поперечного сечения стружки, так как поверхность обработанной заготовки приобретает криволинейную форму.

1. Теоретические расчеты модели взаимодействия плоского ножа с обрабатываемым материалом показали работоспособность фрезы с рефлекторными свойствами.

2. Сравнивая моменты во время разгона (торможения) инструмента (580 Н·м) и во время обработки материала (6 Н·м), можно говорить о том, что оценку требуемых условий фиксации подвижных элементов с корпусом инструмента нужно вести исходя из условия разгона (торможения), так как при этом режиме работы момент сил достигает наибольшего значения.

3. Предлагаемые 3D-модели фрезерования древесных материалов инструментом с прямыми ножами возможно применять в расчетах при конструировании и эксплуатации инструментов.

Литература

1. Гришкевич А. А., Аникеенко А. Ф., Гаранин В. Н. Особенности фрезерного сборного инструмента с изменяемыми углами: передним и наклона режущей кромки // Труды БГТУ. 2014. № 2. Лесная и деревообраб. пром-сть. С. 175–177.
2. Гришкевич А. А., Вихренко В. С., Гаранин В. Н., Аникеенко А. Ф. Расчет параметров адаптивного фрезерного инструмента по разработанной 3D-модели // Труды БГТУ. 2017. № 1. Лесное хозяйство, природопользование и переработка возобновляемых ресурсов. С. 372–377.
3. Гришкевич А. А., Гаранин В. Н. Механическая обработка древесины и древесных материалов, управление процессами резания. Минск: БГТУ, 2014, 90 с.

References

1. Grishkevich A. A., Anikeenko A. F., Garanin V. N. Features of the milling combined tool with changeable corners: to lobbies and an inclination of the cutting edge. *Trudy BGTU* [Proceeding of BSTU], 2014, no. 2: Forest and Woodworking Industry, pp. 175–177 (In Russian).
2. Grishkevich A. A., Vikhrenko V. S., Garanin V. N., Anikeenko A. F. Using the 3D model of the mill with adaptive properties for the analyzer of the operating conditions of the tool. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], 2017, no. 2: Forestry. Nature management. Processing of renewable resources, pp. 372–377 (In Russian).
3. Grishkevich A. A., Garanin V. N. *Mekhanicheskaya obrabotka drevesiny i drevesnykh materialov, upravleniye protsessami rezaniya* [Mechanical processing of wood and wood materials. Control of cutting processes]. Minsk, BGTU Publ., 2014. 90 p.

Информация об авторах

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

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

Болочко Дмитрий Леонидович – магистрант кафедры 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

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

Garanin Victor 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: dosy@belstu.by

Bolochko Dmitriy Leonidovich – Master's degree student, 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 07.03.2018