

УДК 539.422.5

А. В. Белый¹, В. Н. Гаранин², А. А. Гришкевич², А. Ф. Аникеенко²¹Физико-технический институт Национальной академии наук Беларуси²Белорусский государственный технологический университет**МЕТОД ИСПЫТАНИЙ ЛЕЗВИЙ ДЕРЕВОРЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА
С РАЗЛИЧНЫМИ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ
С ЦЕЛЬЮ СРАВНЕНИЯ ИХ ПЕРИОДА СТОЙКОСТИ**

В статье проводится анализ существующих технологий испытаний ножей. Работа выполнена с целью выявления метода, позволяющего снизить затраты на проведение исследований, способствующих ускорению процесса внедрения новых упрочняющих технологий на деревообрабатывающих предприятиях.

Оценка износостойкости покрытий на основании измерения твердости и коррозионной стойкости является уже более адекватной, поскольку уменьшается количество неконтролируемых факторов, влияющих на процесс износа. В настоящее время наибольшую популярность получил метод контроля износостойкости инструмента, основанный на прямом измерении количества обработанного материала. При этом критерием оценки является качество обработки, т. е. при возникновении дефектов обрабатываемого материала инструмент признается потерявшим режущую способность. В то же время такая методика оценки не всегда является достаточно объективной, поскольку при большом количестве обрабатываемого материала инструменты с различными упрочняющими слоями находятся в разных условиях эксплуатации из-за низкой стабильности физико-механических свойств древесины, а также влияния случайных факторов технологии обработки.

Для исключения представленных недостатков в работе предлагается метод, основанный на том, что в режущем инструменте для контроля износостойкости упрочняющих покрытий на поверхность (поверхности) лезвия ножа последовательно нанесены упрочняющие слои, которые сформированы на 30–70% длины режущей кромки. При этом обеспечиваются равные условия эксплуатации упрочненной и неупрочненной областей лезвия инструмента, позволяющие с большей достоверностью оценить свойства упрочняющих технологий.

Ключевые слова: испытание, время, инструмент, упрочнение, сравнение.

A. V. Belyy, V. N. Garanin, A. A. Grishkevich, A. F. AnikeenkoPhysical-Engineering Institute of the National Academy of Sciences of Belarus
Belarusian State Technological University**CUTTING TOOL FOR TESTING WEAR RESISTANCE OF HARDENING COATING**

In this work, the analysis of existing testing technologies of knives is carried out. The work is made for identify a method, that allows to reduce the costs of researches and finally to accelerate the process of introducing new technologies in woodworking enterprises of the Republic of Belarus.

Assessment of wear resistance of coatings on the basis of measurement of hardness and corrosion resistance is more than appropriate, since the reduced number of uncontrollable factors that affect the wear process. Currently, the most popular method of control was durability tool, based on a direct measurement of the amount of material processed. This criterion is the quality of treatment, i. e. in the event of defects in the material being processed instrument is recognized worn. At the same time, such estimation technique is not always enough objective, since the large number of tool material to be treated with different hardening layers are in different operating conditions due to the low stability of physical-mechanical properties of the wood, and the influence of random factors treatment technology.

To eliminate the disadvantages presented by the proposed method is based on the fact that the cutting tool to control wear resistance of hardening coatings containing a cutting part successively deposited on it reinforcing layers, hardening layers formed by 30–70% of the length of the cutting part. At the same time, the equal working conditions of operation the hardened and not hardened areas of cutting tools are providing, that allow better assess the properties of hardening technologies.

Key words: test, time, tool, hardening, comparing.

Введение. Развитию упрочняющих технологий в мире уделяется на сегодняшний день большое внимание. Данное развитие не может происходить без изменения методик испытательных,

позволяющих объективно оценивать технологии с целью выявления наиболее эффективных для использования. Стандартные подходы в современных условиях быстрого разви-

тия технологий, оценивающих качество модифицированных материалов, не всегда оправданы из-за необходимости затрат значительных ресурсов (материальных и временных) на проведение испытаний. По этой причине в настоящее время актуален вопрос развития методик сравнительных испытаний, позволяющих сократить издержки при сохранении адекватности получаемых результатов. Этот вопрос насущен и в деревообработке при внедрении упрочняющих технологий дереворежущего инструмента.

Основная часть. Полный период стойкости лезвийного инструмента определяется в основном периодом стойкости его режущей части. Ее обычно выполняют из сплавов на основе железа, в частности, из инструментальных быстрорежущих сталей, легированных вольфрамом и молибденом, содержащих до 2% ванадия (P18, P12, P9, P6M5, P6M3 и др.), а также из сталей, легированных вольфрамом и кобальтом, содержащих свыше 2% ванадия (P18Ф2, P14Ф5, P9Ф5, P10Ф5K5, P9K5, P9K10 и др.) [1, 2]. Первую группу относят к сталям нормальной производительности, а вторую – к сталям повышенной производительности. Высокие эксплуатационные свойства быстрорежущих сталей обеспечиваются благодаря их легированию вольфрамом, ванадием и молибденом, которые, соединяясь с углеродом, образуют соответствующие карбиды. Износостойкость быстрорежущих сталей в 3–5 раз выше, чем углеродистых и низколегированных.

Основной недостаток инструмента, выполненного из этих сталей – относительно низкая устойчивость к абразивному износу. Это связано, с одной стороны, с малым различием в твердости между материалом инструмента и обрабатываемым материалом, а с другой – с попаданием инородных частиц, например песка, в зону взаимодействия лезвия ножа и материала в процессе резания. Высокая твердость инородных частиц приводит к быстрому абразивному износу режущей части инструмента. Сравнительная оценка износостойкости рассматриваемого режущего инструмента проводится обычно на основании многофакторных экспериментов с планами второго порядка [3, 4]. Это связано с проведением большого количества экспериментов, что далеко не всегда является возможным.

Наиболее эффективным методом повышения устойчивости к абразивному износу инструмента является нанесение упрочняющих покрытий, характеризующихся высокой твердостью [5]. Для этих целей используют покрытия на основе соединений тугоплавких металлов, формируемых различными методами. Толщина

покрытия определяется видом и назначением инструмента и может составлять от долей микрон до величин порядка миллиметров. Оценка их износостойкости проводят, как правило, на основании измерения твердости и коррозионной стойкости. Однако такая оценка зачастую не дает реальной картины износостойкости инструмента, поскольку фактический износ зависит не только от этих параметров. Важнейшим параметром износостойкости покрытий является их адгезия к основанию, которая для упомянутых покрытий невысокая. Отслоение покрытия в процессе эксплуатации инструмента не позволяет в полной мере оценить его свойства.

В настоящее время для проведения сравнительных испытаний используется режущий инструмент, содержащий режущую часть как из стали, так и из материала твердого сплава с нанесенным на нее упрочняющим покрытием, которое может состоять из комбинированного подслоя титана (нитридом, оксинитридом, карбосинитридом; слоя нитрида, карбида, оксида, карбонитрида, оксикарбида, оксинитрида, карбосинитрида тугоплавкого металла) [6].

По сути, первый слой на основе титана служит для обеспечения требуемой адгезии второго слоя, который является упрочняющим, поскольку перечисленные соединения характеризуются невысокой адгезией к металлическим основаниям, и отслаивается в процессе эксплуатации инструмента. Пленки на основе титана обладают превосходной адгезией к металлам и их сплавам, но характеризуются относительно низкой износостойкостью. Поэтому принципы, положенные в основу использования конструкций режущего инструмента, – адгезионный слой на основе титана плюс упрочняющий слой – являются типовыми в технике упрочнения. В качестве основания при этом могут быть использованы не только твердосплавные материалы, но и различные сорта сталей.

Оценка износостойкости таких покрытий на основе измерения твердости и коррозионной стойкости является уже более адекватной, поскольку уменьшается количество неконтролируемых факторов, влияющих на процесс износа. Однако наибольшую популярность получил метод контроля износостойкости инструмента, основанный на прямом измерении количества обработанного материала. При этом критерием оценки является, как правило, качество обработки: при возникновении дефектов обрабатываемого материала, например сколов кромки, инструмент признается потерявшим режущую способность. В то же время такая методика оценки не всегда является достаточно объективной, поскольку при большом количестве

обрабатываемого материала инструменты с различными упрочняющими слоями находятся в различных условиях эксплуатации: меняется твердость обрабатываемого материала, его состав, количество инородных включений, усилие подачи и т. п. В таких случаях правильный выбор упрочняющего покрытия инструмента для обработки того или иного материала становится крайне затруднительным, поскольку для инструмента с худшими свойствами существует вероятность эксплуатации в более мягких условиях, когда его износ существенно меньше по сравнению с износом инструмента с более лучшими характеристиками, но подвергнутого более жесткой эксплуатации.

Кроме того, в процессе эксплуатации инструмент подвергается значительным термоциклическим нагрузкам, зависящим от режима эксплуатации. Известно, что температура в зоне резания может достигать 1000°C и более [7, 8]. Это приводит к постоянной рекристаллизации структуры упрочняющего покрытия с укрупнением размера зерна и сопутствующим снижением износостойкости, которое зависит не только от материала покрытия, но и от способа его получения, а также ряда других факторов. Такая многофакторность зачастую делает невозможным сравнительную оценку износостойкости инструмента с различными упрочняющими слоями.

Повышение достоверности оценки износостойкости упрочняющих слоев можно решить таким образом: на поверхности (поверхностях) лезвия одного и того же ножа сформировать упрочняющие слои не по всей его длине, а только на 30–70% длины его режущей части.

Сущность данного решения заключается в том, что обеспечиваются практически равные условия эксплуатации упрочненной и неупрочненной частей режущей кромки лезвия ножа испытуемого инструмента.

При эксплуатации режущего инструмента упрочненная и неупрочненная области режущей кромки работают в равных условиях: скорости подачи и резания, температура в зоне контакта стружки с лезвием ножа, возникающая за счет силы трения, физико-механические свойства материала и т. д. В этом случае оценить износостойкость упрочняющего покрытия можно прямым измерением изменения разницы радиусов резания Δ , мкм, упрочненной и неупрочненной областей режущей кромки в процессе эксплуатации (рис. 1):

$$\Delta = R_{л. у} - R_{л. н. у}.$$

Повышенная скорость износа одной из областей инструмента сопровождается большим уменьшением радиуса резания. Чем больше

изменение радиусов резания, тем больше износостойкость упрочняющего покрытия.

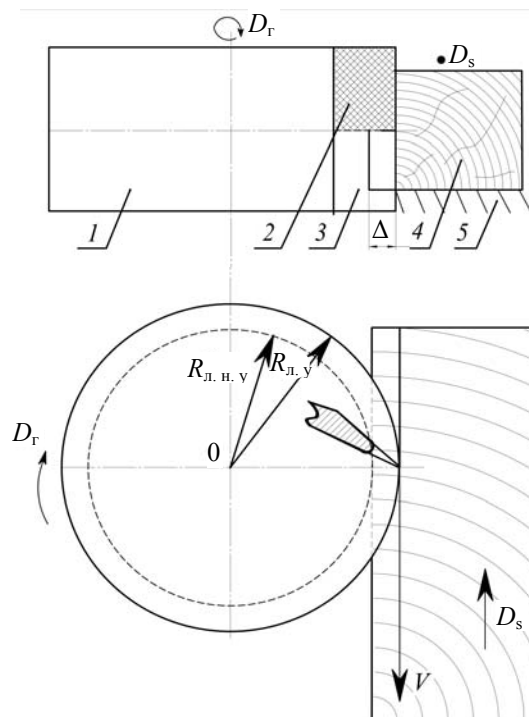


Рис. 1. Изменение радиуса резания при проведении сравнительных испытаний:
 1 – фреза сборная; 2 – лезвие упрочненное (л. у);
 3 – лезвие неупрочненное (л. н. у);
 4 – обрабатываемый материал;
 5 – опорная поверхность (стол);
 Δ – разница радиусов резания л. у и л. н. у

Заявляемый инструмент предназначен только для оценки износостойкости покрытий. На основании полученных данных выбирают оптимальный состав покрытия, который затем формируют на всей длине режущей кромки инструмента, используемого в производстве. В то же время все изделия, обработанные заявляемым инструментом, относятся к группе качественных, поскольку изменение радиуса резания составляет величины порядка сотых долей мм. Наличие ступеньки такой высоты на поверхности обрабатываемого материала, как правило, не отражается на потребительских свойствах полученных изделий или легко устраняется дополнительной операцией.

Заявляемое решение предусматривает возможность оценки износостойкости инструмента вне зависимости от материала покрытия. Поэтому вид фактически используемого упрочняющего покрытия в данном случае может быть любым.

Соотношение длин упрочненной и неупрочненной областей режущей кромки выбрано на основании экспериментальных данных [9].

ли длина упрочненной области составляет более 70%, например 80%, то существенно сужается ассортимент обрабатываемых изделий при проведении испытаний. В этом случае надо использовать только те изделия, при обработке которых задействована практически вся длина режущей кромки. Если же задействована только часть режущей кромки (в данном случае преимущественно упрочненная область), то другая область износу не подвергается, что приводит к появлению ошибки при контроле. И наоборот, если длина упрочненной части составляет менее 30% всей длины режущей кромки, то существенно возрастает вероятность возникновения ошибки контроля, связанной с отсутствием воздействия на упрочненную область.

Сущность заявляемого решения поясняется на рис. 2, где приведены схематическое изображение заявляемого режущего инструмента и схема проведения измерений износа.

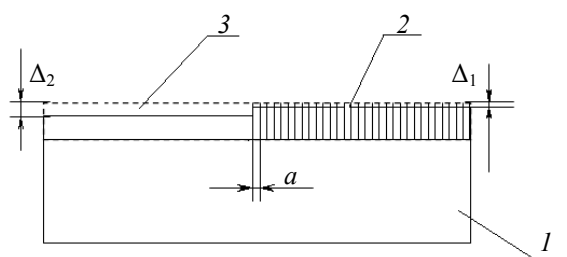


Рис. 2. Схема упрочнения инструмента:

- 1 – нож; 2 – упрочненная область;
- 3 – неупрочненная область;
- Δ_1 – износ упрочненной области;
- Δ_2 – износ неупрочненной области;
- a – перемещение инструмента с ножом во время проведения испытаний в осевом направлении

Штриховой линией изображена режущая кромка инструмента до испытаний, а сплошными линиями – после.

Как видно из рис. 2, заявляемый инструмент состоит из режущей части, которая содержит упрочненную и неупрочненную области. По мере эксплуатации обе области подвергаются износу, при этом износ упрочненной области Δ_1 при положительных результатах использования упрочняющих технологий меньше износа неупрочненной области Δ_2 .

Оценка износостойкости упрочняющих покрытий с использованием заявляемого инструмента осуществляется следующим образом. Изготавливают несколько инструментов с различными упрочняющими покрытиями. Причем каждое покрытие наносят на 30–70% длины режущей части. Инструмент устанавливают во фрезерный инструмент и начинают обработку

материалов, например заготовок из древесины. Инструмент контактирует с заготовкой в процессе обработки упрочненной и неупрочненной частями одновременно. Изменение режимов обработки, твердости материала, его чистоты, динамика термоциклических нагрузок и т. п. сопровождаются одинаковыми изменениями воздействия как на упрочненную область, так и на неупрочненную. Поэтому разница износа упрочненной области и износа неупрочненной области адекватно отражает относительную износостойкость упрочняющего покрытия, нанесенного на упрочненную область. Измерение этой разницы для всего спектра исследуемых покрытий позволяет однозначно определить наиболее оптимальное из них для упрочнения инструмента, применяемого для обработки выбранного типа материала.

Кроме того, путем поэтапного перемещения инструмента с ножом во время проведения испытаний в осевом направлении на величину a (см. рис. 1 и 2) появляется возможность построить временную зависимость потери режущей способности. Параметр a зависит от количества точек k этой зависимости. Минимальное его значение, установленное экспериментально, составляет 3 мм. В противном случае возникают существенные затруднения по обеспечению измерений фактического износа. Очевидно, что максимальное значение перемещения инструмента a_{\max} должно удовлетворять соотношению.

$$a_{\max} < b / k, \quad (1)$$

где b – ширина обрабатываемого материала, мм.

Максимальное значение b в этом случае определяется фактической длиной упрочненной части $l_{\text{упр}}$ из соотношения $b < l_{\text{упр}}$, а возможное количество контрольных точек $k = l_{\text{упр}} / 3$.

При поэтапном перемещении инструмента в процессе испытаний каждый его участок длиной a проходит фиксированный путь в материале, определяемый фактическим номером измеряемой точки k (от периферии до центра путь будет увеличиваться). Это позволяет получить значение величины износа в зависимости от количества обработанного материала, т. е. динамику потери режущей способности на одном ноже за один цикл экспериментов без процедуры его снятия и установки [9].

Испытание заявляемого инструмента проводили следующим образом. Пленки осаждали на установке УРМЗ.279.048 [9], модифицированной встроенной системой сепарации плазмы при двухкатодном распылении на пластины из твердого сплава с углом заострения 65 град. Неупрочняемую часть режущего инструмента маскировали фольгой. Соотношение длин упрочненной и неупрочненной областей приведено в таблице.

**Соотношение длин упрочненной
и неупрочненной областей инструмента**

№ п/п	Доля упрочненной области, %	Тип соединений титана	Изменение радиуса резания упрочненной части, мкм	Изменение радиуса резания неупрочненной части, мкм	Повышение износостойкости, %
1	20	Нитрид	–	–	–
2	30	Нитрид	40	80	100
3	50	Нитрид	40	80	100
4	70	Нитрид	40	80	100
5	80	Нитрид	–	–	–
6	50	Карбид	20	80	300
7	50	Карбонитрид	30	80	167
8	50	Оксинитрид	40	80	100

Ионную очистку осуществляли при потенциале смещения 1,5 кВ ионами титанового катода, после этого осаждали адгезионную пленку на основе титана толщиной $1,5 \pm 0,1$ мкм. Затем осаждали пленки соединений титана толщиной $2,5 \pm 0,1$ мкм при парциальном давлении азота $0,5 \cdot 10^{-2}$ Па. Тип соединений титана приведен в таблице. Суммарная толщина всех пленок, определенная на микроинтерферометре МИИ-4, во всех случаях составляла $4,0 \pm 0,1$ мкм.

Оценку износостойкости режущих пластин оценивали по изменению радиусов резания упрочненной и неупрочненной областей для раз-

личных типов упрочняющих покрытий при обработке плит МДФ на промышленной машине Unimat 23EL. Частота вращения составляла 6000 мин^{-1} , скорость подачи – 6 м/мин. Изменение радиусов резания определяли на установке OptiControl [9] после обработки партии плит из 48 шт.

Заключение. При эксплуатации заявляемого метода испытаний упрочненная и неупрочненная области режущей кромки работают в равных условиях: усилие и скорость подачи, температура нагрева в результате трения, твердость обрабатываемого материала, его чистота (например, наличие абразивных частиц в виде песка) и все остальное. В этом случае оценить износостойкость упрочняющего покрытия можно прямым измерением изменения радиусов резания упрочненной и неупрочненной областей режущей кромки в процессе эксплуатации. Повышенная скорость износа одной из областей инструмента сопровождается большим уменьшением радиуса резания. Чем больше изменение радиусов резания Δ , тем больше износостойкость упрочняющего покрытия.

В результате полученные данные сравнительных испытаний показали, что использование заявляемой технологии испытаний режущего инструмента для контроля износостойкости упрочняющих покрытий позволяет проводить сравнительную оценку износостойкости. При этом обеспечиваются одинаковые условия эксплуатации упрочненной и неупрочненной областей и значительно сокращаются издержки на проведение испытаний.

Литература

1. Гуляев А. П., Малинина К. А., Саверина С. М. Инструментальные стали. Справочник. М.: Машиностроение, 1975. 272 с.
2. Геллер Ю. А. Инструментальные стали. 4-е изд. М.: Металлургия, 1975. 584 с.
3. Новик Ф. С., Ярсов Я. Б. Оптимизация процессов технологии металлов методами планирования экспериментов. М.: Машиностроение; София: Техника, 1980. 304 с.
4. Пижурич А. А., Розенбит М. С. Исследования процессов деревообработки. М.: Лесная пром-сть, 1984. 232 с.
5. Вершина А. К., Агеев В. А. Ионно-плазменные защитно-декоративные покрытия. Гомель: ИММС НАНБ, 2001. 172 с.
6. Лезвийный инструмент. Патент Республики Беларусь 10171. А. К. Вершина, В. А. Агеев. Заявлено 06.07.2005 г. Опубликовано 30.12.2007 г.
7. Резников А. Н. Теплофизика резания. М.: Машиностроение, 1969. 288 с.
8. Васин С. А., Верещака А. С., Кушнер А. С. Термомеханический подход к системе взаимосвязей при резании. Резание материалов. М.: Изд-во МГТУ им. Баумана, 2011. 448 с.
9. Влияние ионно-лучевого азотирования дереворежущего инструмента, изготовленного из быстрорежущей стали, на период его стойкости / А. В. Белый [и др.] // Труды БГТУ. 2016. № 2: Лесная и деревообработ. пром-сть. С. 266–269.

References

1. Gulyayev A. P., Malinin K. A., Saverin S. M. *Instrumental'nyye stali. Spravochnik* [Tool steel. Directory]. Moscow, Mashinostroyeniye Publ., 1975. 272 p.

2. Geller Yu. A. *Instrumental'nyye stali* [Tool steel]. Moscow, Mashinostroyeniye Publ., 1975. 584 p.
3. Novik F. S., Yarsov Ya. B. *Optimizatsiya protsessov tekhnologii metallov metodami planirovaniya eksperimentov* [The process optimization technology of metals methods of planning experiments]. Moscow, Mashinostroyeniye Publ.; Sofiya, Tekhnika Publ., 1980. 304 p.
4. Pizhurin A. A., Rozenblit M. S. *Issledovaniya protsessov derevoobrabotki* [Research woodworking processes]. Moscow, Lesnaya prom-st' Publ., 1984. 232 p.
5. Vershina A. K., Ageev V. A. *Ionno-plazmennyye zashchitno-dekorativnyye pokrytiya* [Ion-plasma protective and decorative coatings]. Gomel', IMMS NANB Publ., 2001. 172 p.
6. Vershina A. K., Ageev V. A. *Lezviynyy instrument* [The blade tool]. Patent BY, no. 10171, 2007.
7. Reznikov A. N. *Termofizika rezaniya* [Thermophysics cutting]. Moscow, Mashinostroyeniye Publ., 1969. 288 p.
8. Vasin S. A., Vereshchaka A. S., Kushner A. S. *Termomekhanicheskiy podkhod k sisteme vzaimosvyazey pri rezanii. Rezaninye materialov* [Thermomechanical approach to the system of relationships in cutting. Cutting materials]. Moscow, Izd-vo MGU im. Baumana Publ., 2011. 448 p.
9. Belyy A. V., Anikeenko A. F., Grishkevich A. A., Garanin V. N. The influence ion-beam nitriding of woodworking tools, made of high speed steel, for the period of its resistance. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], 2016, no. 2: Forestry and Woodworking Industry, pp. 266–269 (In Russian).

Информация об авторах

Белый Алексей Владимирович – доктор технических наук, профессор, заведующий отделом. Физико-технический институт Национальной академии наук Беларуси (220141, г. Минск, ул. Куревича, 10, Республика Беларусь). E-mail: phti@belhost.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: 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, старший преподаватель кафедры деревообрабатывающих станков и инструментов. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: hasper@tut.by

Information about the authors

Belyy Aleksey Vladimirovich – DSc (Engineering), Professor, Head of the Department. Physical-Technical Institute of the National Academy of Sciences of Belarus (10, Kuprevicha str., 220141, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: phti@belhost.by

Garanin Viktor Nikolayevich – 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), Senior Lecturer, the Department of Woodworking Machines and Tools. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: hasper@tut.by

Поступила 21.04.2017