

УДК 621.914:674:004

**В. Н. Гаранин, В. В. Раповец, Т. А. Машорипова, Г. В. Алифировец**  
Белорусский государственный технологический университет

### **ВИБРАЦИОННОЕ РЕЗАНИЕ ДРЕВЕСНЫХ МАТЕРИАЛОВ НА СТАНКАХ С ЧИСЛОВЫМ ПРОГРАММНЫМ УПРАВЛЕНИЕМ**

Данная статья посвящена теоретическим исследованиям в области вибрационного разрушения материалов с целью поиска возможностей повышения износостойкости дереворежущих фрезерных инструментов. При обработке древесины и древесных материалов на высоких скоростях использование вибрационного резания позволяет изменять условия взаимодействия системы «инструмент обрабатываемый материал», что открывает новые возможности для применения различных упрочняющих технологий инструмента, основанных исключительно на создании износостойких покрытий.

Использование вибрационного резания в процессе обработки древесины на деревообрабатывающем оборудовании с ЧПУ позволяет влиять на динамику процесса резания древесины и положительно сказывается на возможности использования инструментальных материалов с низкой ударной вязкостью при изготовлении дереворежущих инструментов.

Проведенные теоретические исследования показали, что вибрации, обусловленные процессом резания с оптимальными частотой и амплитудой колебаний, позволяют улучшать качественные показатели процесса механической обработки фрезерованием за счет адаптации к условиям создания разрушающих напряжений в зоне резания. Это дает возможность снизить энергоемкость процесса обработки и увеличить технологическую стойкость режущего инструмента с применением различных упрочняющих технологий.

**Ключевые слова:** вибрационное резание, параметры, древесные материалы, резание, исследование.

**Для цитирования:** Гаранин В. Н., Раповец В. В., Машорипова Т. А., Алифировец Г. В. Вибрационное резание древесных материалов на станках с числовым программным управлением // Труды БГТУ. Сер. 1, Лесное хоз-во, природопользование и перераб. возобновляемых ресурсов. 2023. № 1 (264). С. 208–214. DOI: 10.52065/2519-402X-2023-264-23.

**V. N. Garanin, V. V. Rapovets, T. A. Mashoripova, G. V. Alifirovets**  
Belarusian State Technological University

### **VIBRATION CUTTING OF WOOD MATERIALS ON MACHINES WITH NUMERICAL CONTROL**

This article is devoted to theoretical research in the field of vibrational destruction of materials in order to find ways to increase the wear resistance of wood-cutting milling tools. When processing wood and wood-based materials at high speeds, the use of vibration cutting makes it possible to change the conditions for the interaction of the "tool-work material" system, which opens up new opportunities for the use of various hardening tool technologies based solely on the creation of wear-resistant coatings.

The use of vibration cutting in the process of wood processing on CNC woodworking equipment allows you to influence the dynamics of the wood cutting process and has a positive effect on the possibility of using tool materials with low impact strength in the manufacture of wood cutting tools.

The theoretical studies carried out have shown that vibrations caused by the cutting process with the optimal frequency and amplitude of oscillations make it possible to improve the quality indicators of the process of mechanical processing by milling by adapting to the conditions for creating destructive stresses in the cutting zone. This will reduce the energy intensity of the processing process and increase the technological durability of the cutting tool, using various hardening technologies.

**Key words:** vibration cutting, parameters, wood materials, cutting, research.

**For citation:** Garanin V. N., Rapovets V. V., Mashoripova T. A., Alifirovets G. V. Vibration cutting of wood materials on machines with numerical control. *Proceedings of BSTU, issue 1, Forestry. Nature Management. Processing of Renewable Resources*, 2023, no. 1 (264), pp. 208–214. DOI: 10.52065/2519-402X-2023-264-23 (In Russian).

**Введение.** На сегодняшний день повышение износостойкости дереворежущего инструмента является актуальной задачей, поскольку увеличение объемов выпускаемой продукции

из древесины ведет к увеличению объемов используемого инструмента. С точки зрения экономики разработка технологии повышения износостойкости дереворежущего инструмента

является актуальной целью, позволяющей деревообработчикам извлечь дополнительную прибыль.

Использование вибрационного взаимодействия инструмента с обрабатываемым материалом при высокоскоростном резании древесины позволяет изменить условия взаимодействия «инструмент – деталь», что открывает новые возможности к использованию упрочняющих технологий, базирующихся не только на использовании покрытий или обработке режущих материалов.

Использование вибраций инструмента при измельчении древесины в стружку на деревообрабатывающем оборудовании позволяет влиять на динамику процесса резания древесины, что положительно сказывается на результатах использования инструментальных материалов с низкой ударной вязкостью для изготовления дереворежущего инструмента.

**Основная часть.** Цель исследования – установление возможностей реализации вибрационного резания древесных материалов на станках с числовым программным управлением.

Исследователи, которые ранее изучали способы деления древесины, обратили внимание на перспективность вибрационного резания при обработке древесных материалов. Так, в работе [1] В. И. Любченко рассматривал открытое прямолинейное резание, при котором главное движение лезвия относительно неподвижной заготовки складывается из двух движений: поступательного с постоянной скоростью  $V_1$  и возвратно-поступательного (колебательного) с переменной скоростью  $V_2$ , изменяющейся по синусоидальному закону.

Если амплитуда колебательного движения лезвия мала (доли миллиметра, несколько миллиметров или сантиметров), а угловая скорость или число двойных ходов лезвия (циклов) в минуту достаточно велико (несколько сот или тысяч ходов в минуту), то такое резание предлагают называть вибрационным, в данном случае – с продольными вибрациями. При этом угол скола равен нулю, а толщина срезаемого слоя – величина постоянная.

При таком резании наблюдались условия, когда происходила повторная зачистка лезвием поверхности резания, что положительно сказывалось на качестве обработанной поверхности. Как видно, аналогично использованию рефлекторного фрезерования дополнительные степени свободы инструмента при обработке древесины позволяют добиться улучшения качества обработанных поверхностей без увеличения скоростей деталей привода или увеличения количества режущих элементов.

Вибрационное резание древесины имеет и другое преимущество. Когда на обрабатываемый материал воздействует со стороны лезвия знакопеременная нагрузка, в материале появляется пульсирующее знакопеременное поле напряжений. Оно локализуется в некоторой массе материала, обладающей определенной собственной частотой упругих колебаний. В. И. Любченко предлагает подобрать такую амплитуду и частоту накладываемых на лезвие вибраций, при которых возникает резонанс между этими вибрациями и колебаниями материала. В этом случае материал разрушается при меньших напряжениях, чем в случае приложения постоянной нагрузки, обеспечив тем самым снижение энергопотребления процесса резания.

Изыскание новых методов обработки древесины и древесных материалов резанием ведется путем:

а) изменения характера приложения механического воздействия на срезаемый слой (например, вибрационное, сверхскоростное взаимодействие);

б) использования качественно новых видов воздействия на материал срезаемого слоя (химического, электрического);

в) применения комбинированных методов обработки, построенных на совмещении монотонного механического воздействия с вибрационным, тепловым и другими видами энергии.

Сочетание каждого из этих процессов с другими, а также комбинации из трех или четырех элементов определяют известные к настоящему времени новые методы обработки материалов со снятием стружки. Комбинированные методы обработки отличаются наибольшей эффективностью. Значительное место среди них занимает механическая обработка с вибрациями в специальных средах, совмещающая равномерное движение резания с вибрационным воздействием на материал срезаемого слоя.

Применение резания с вибрациями (на оптимальных режимах) позволяет успешно решать многие актуальные проблемы, стоящие перед металлообрабатывающей промышленностью. В частности, резание с вибрациями обеспечивает надежное дробление стружки. Этот факт дает возможность предполагать об успешном решении многих проблем и в деревообработке.

Большинство исследований вибраций при резании изотропных материалов выполнено на основе упрощенных структурных схем. Чаще изучение «вредных» вибраций проводят на основе исследования влияния отдельных первичных параметров на интенсивность вибраций и результаты обработки. Так, А. И. Кашириным выполнены исследования интенсивности «вредных» вибраций с учетом влияния особенностей

процесса трения только на контактных поверхностях [2], Л. П. Соколовским – с учетом особенностей пластического деформирования при резании и выходе инструмента, И. С. Штейнбергом – с учетом процесса наростообразования на кромках лезвия инструмента.

Надо отметить, что совершенно недостаточно изучен механизм влияния «вредных» вибраций, обусловленных процессом резания, на вторичные факторы и, прежде всего, на технологическую стойкость и прочность инструмента. Исследования «полезных» вибраций, задаваемых специальными вибраторами, проведены, как правило, на основе рассмотрения прямой взаимосвязи первичных и вторичных факторов, без изучения физических закономерностей процесса резания, определяющих эту взаимосвязь.

В паре «инструмент – разрезаемый материал» следует обратить внимание на третье составляющее – полевое воздействие.

Влияние импульсного воздействия на металл было определено в лабораторных условиях [2–4].

Так, для исследования влияния вибрации на процесс резки арматурной стали профессором Волковым С. А. был использован вибратор направленного действия с частотой, равной примерно 25 Гц ( $P = 1 \text{ кВт}$ ,  $n = 1540 \text{ мин}^{-1}$ ). Он провел 230 экспериментов, показав, что в режиме резонанса наблюдается существенное снижение сил резания (более чем в 4 раза была уменьшена сила резания).

Изучение зоны среза материала показало, что при вибрационном резании повышается качество среза. Торец среза более ровный и в большой степени перпендикулярен к оси стержня по сравнению с торцом при резке без вибрации. При изучении микрошлифов установлено, что при воздействии вибрации уменьшается объем деформированного металла. Этим частично и объясняется снижение энергоемкости при вибрационном резании. При действии вибрации наблюдалось изменение механических свойств и реологического поведения разрезаемого металла за счет виброактивации. Традиционное объяснение снижения «статической» составляющей силы резания заключается в том, что добавляется динамическая составляющая, дающая в сумме разрушающее воздействие. Экспериментально это не подтвердилось, но, вероятно, данное суммирование имеет место на микроуровне – на дефектах строения древесного материала.

С целью расширения частотного диапазона вибраций С. А. Волковым [2] были выполнены эксперименты по выявлению влияния ультразвукового воздействия на зону резания металлов. Удалось снизить силу резания в 1,8–2,2 раза на частоте 7,9 кГц. Для этого исследования был применен оптимальный метод статистического планирования эксперимента.

Эффект снижения прочности материала наблюдался в экспериментах, проведенных в начале 60-х годов 20 века в СССР при снятии внутренних напряжений со сварных конструкций и с затвердевшего бетона с помощью ультразвукового воздействия, а также в экспериментах со стальными шариками и плитой. Если прочность шарика была выше прочности плиты, то под воздействием ультразвука шарик деформировался (при большей прочности) только от собственного веса.

Этот же эффект наблюдался болгарским профессором Г. С. Ангеловым [5] при растяжении монокристаллов металлов цинка и алюминия.

Объяснение роли цикличности нагружения в разрушении материалов дают Ю. А. Никонов и В. А. Степанов [6]. Они считают, что одной из причин понижения напряжения разрушения при циклической нагрузке является взаимодействие поля микронапряжений от внешней нагрузки цикла с остаточными микронапряжениями, возникающими в теле после предыдущих циклов. Остаточные микронапряжения и микродефекты возникают при растяжении, а при сжатии происходит «отдых». Если сразу после растяжения в каждом цикле проводить мероприятия по снятию остаточных напряжений, то долговечность тела могла бы быть значительно повышена.

Существенный вклад в изменение прочностных свойств и реологического поведения твердых тел при воздействии динамических нагрузок вносят поверхности как наружные, так и внутренние, например, границы между волокнами и древесными частицами, выступающие в роли акустических границ и способствующие возникновению сложного спектра акустических, ультразвуковых и гиперзвуковых волн [2, 4]. При обработке древесины и древесных материалов в роли акустических границ смогут выступать как границы между волокнами и частицами самой древесины (при обработке плитных материалов), так и сами дефекты обрабатываемого материала (сучки, трещины и т. д.).

Таким образом, использование вибрационных механизмов адаптации инструмента к условиям резания материалов позволяет снизить ударные нагрузки взаимодействия. Существует возможность использовать различные вибрации и положительно влиять на процесс резания материалов путем адаптации их к условиям создания разрушающих напряжений в зоне взаимодействия. По причине того, что цилиндрическое фрезерование характеризуется циклоидальным характером образования поверхностей резания, создание «полезных» вибраций следует рассматривать с точки зрения формирования циклоиды. Этим и следует руководствоваться при разработке вибрационного фрезерного дерево-режущего инструмента.

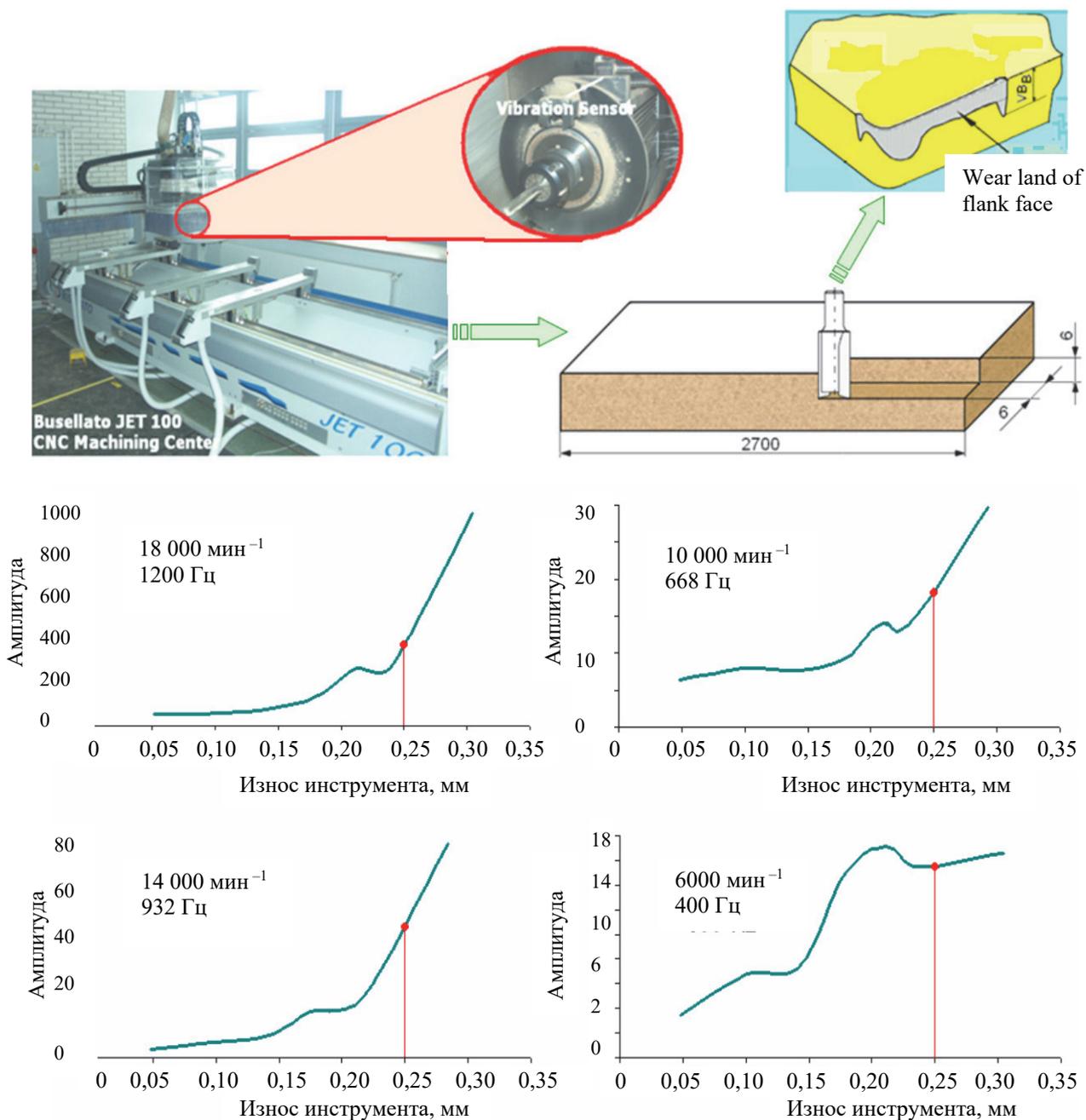


Рис. 1. Зарубежный опыт в изучении вибраций при резании материалов

Следует также обратить внимание и на зарубежный опыт изучения вибраций при резании различных материалов [7–22]. Схематично результаты изучаемых направлений можно представить в виде, изображенном на рис. 1–2. С точки зрения влияния вибрации на формирование силы в процессе разрушения древесины наиболее интересной следует считать задачу обработки материалов [21], при которой создаются напряжения сжатия, необходимые для снятия материала и создания вибрации. Схематично точение с использованием эллиптических вибраций представлено на рис. 3.

Возможности использования инструментальной адаптации на практике в промышленных условиях в основном определяют целесообразность применения и дальнейшего развития предлагаемой технологии механической обработки древесных материалов.

Рассматривая любую технологию как способ сохранения и увеличения ресурсов, инструментальную адаптацию можно внедрять в промышленность в качестве отдельной технологии путем создания нового типа оборудования и инструмента, а можно в уже используемые технологии вводить механическую обработку древесины, изменяя

при этом конструкцию используемого оборудования. Последний способ является наиболее простым, не предусматривающим высоких затрат ресурсов на использование новой технологии.

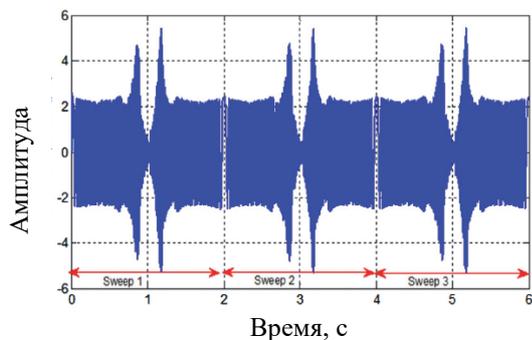


Рис. 2. Повышение качества фрезерования с использованием вибраций

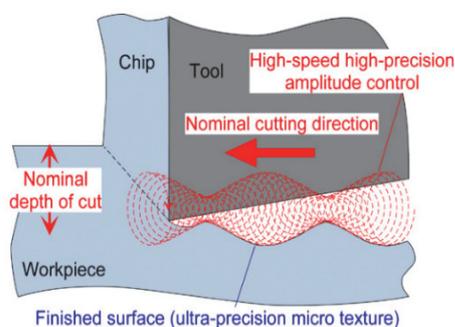


Рис. 3. Точение с использованием эллиптических вибраций

В общем случае внедрение инструментальной адаптации в привод механизма резания оборудования необходимо рассматривать с учетом

взаимного влияния как электромагнитных свойств двигателя, так и характеристик жесткости передач, участвующих в передаче крутящего момента к режущему инструменту.

Использование вибраций при инструментальной адаптации в конечном счете отражает условия высокоскоростного взаимодействия. Необходимо рассматривать относительное взаимодействие режущего инструмента с материалом не только как воздействие инструмента на заготовку, но и заготовки на инструмент, которая при обработке базируется в оборудовании.

**Заключение.** Таким образом, на примере обработки сталей можно сказать, что вибрации, обусловленные процессом резания с оптимальными параметрами (частотой и амплитудой), позволяют использовать их для улучшения механической обработки, т. е. превратить «вредные» вибрации в полезные путем адаптации их к условиям создания разрушающих напряжений в зоне резания. В частности, для цилиндрического фрезерования древесных материалов данные условия взаимодействия характеризуются циклоидальным характером образования поверхностей, и создание полезных вибраций следует рассматривать именно в процессе формирования циклоиды, чем и обоснована применяемая в данной работе модель инструмента. Создание «полезных» вибраций при взаимодействии инструмента с обрабатываемым материалом предлагается обеспечивать с помощью рабочих органов деревообрабатывающего оборудования с ЧПУ (механизмов резания, подачи и базирования), что позволит снизить энергоемкость процесса обработки и увеличить технологическую стойкость режущего инструмента.

### Список литературы

1. Любченко В. И. Резание древесины и древесных материалов. М.: Лесная пром-сть, 1986. 296 с.
2. Волков С. А. Влияние динамических нагрузок на прочность и реологическое поведение твердых тел (о механизмах самоорганизации структур дефектов кристаллической решетки в зонах деформаций) // Синергетика и методы науки. СПб.: Наука, 1998. С. 131–155.
3. Волков С. А. Влияние скорости резания и вибрации на величину усилий в зоне среза // Строительные и дорожные машины: докл. к XXIV науч. конф. ЛИСИ. Л., 1966. С. 34–36.
4. Волков С. А. Физические основы рабочих процессов машин для изготовления арматуры железобетонных конструкций. СПб.: С.-Петербург. гос. архитектур.-строит. ун-т, 2001. 125 с.
5. Применение ультразвука в промышленности / под ред. А. И. Маркова. М.: Машиностроение; София: Техника, 1975. 240 с.
6. Зельдович Л. Б., Райзер Ю. П. Физика ударных волн и высокотемпературных гидродинамических явлений. М.: Наука, 1966. 686 с.
7. Dimla D. E. The Correlation of Vibration Signal Features to Cutting Tool Wear in a Metal Turning Operation // Int. J. Adv. Manuf. Technol. 2002. P. 705–713.
8. Szwajka K., Gorski J. Evaluation Tool Condition of Milling Wood on the Basis of Vibration Signal // Journal of Physics: Conference Series. 2006. No. 48. P. 1205–1209.
9. Philips S. Ogun, Michael R. Jackson. Active vibration control and real-time cutter path modification in rotary wood planing // Mechatronics Volume. 2017. No. 46. P. 21–31.
10. Gwo-Lianq Chern, Han-Jou Lee. Using workpiece vibration cutting for micro-drilling // Int. J. Adv. Manuf. Technol. 2006. No. 5. P. 688–692.

11. Use of cutting force and vibro-acoustic signals in tool wear monitoring based on multiple regression technique for compreg milling / Gorski J. [et al.] // Sensing tool wear in milling. *BioResources*. 2019. No. 14 (2). P. 3379–3388.
12. Tratar J., Pusavec F., Kopac J. Tool wear in terms of vibration effects in milling medium-density fibreboard with an industrial robot // *Journal of Mechanical Science and Technology*. 2014. No. 28 (11). P. 4421–4429.
13. Kovatchev G. Influence of the belt type over vibrations of the cutting mechanism in woodworking shaper // *Chip and chipless woodworking processes*. 2018. No. 11 (1). P. 105–110.
14. Fang X. D., Yao Y., Arndt G. Monitoring groove wear development in cutting tools via stochastic modelling of three-dimensional vibrations // *Elsevier Sequoia, Lausanne. Wear*. 1991. No. 151. P. 143–156.
15. The relationships between cutting parameters, tool wear, cutting force and vibration / Xu Chuangwen [et al.] // *Advances in Mechanical Engineering*. 2018. Vol. 10 (1). P. 1–14.
16. Gochev Z., Vukov G. Influence of the wearing of the saw unit elements of the wood shaper on the system vibration // *Acta facultatis xylogologiae Zvolen*. 2017. No. 59 (2). P. 147–153.
17. Tian J. F., Hutton S. G. Cutting-induced vibration in circular saws // *Journal of Sound and Vibration*. 2001. No. 242 (5). P. 907–922.
18. Bhuiyan M. S. H., Choudhury I. A. Investigation of Tool Wear and Surface Finish by Analyzing Vibration Signals in Turning Assab-705 Steel // *Machining Science and Technology*. 2015. No. 19. P. 236–261.
19. Nasir V., Cool J. Intelligent wood machining monitoring using vibration signals combined with self-organizing maps for automatic feature selection // *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. 2020. P. 202–217.
20. Corrosion of materials used as cutting tools of wood // M. Gauvent [et al.] // *Wear*. 2006. No. 261. P. 1051–1055.
21. Suzuki N., Yokoi H., Shamoto E. Micro/nano sculpturing of hardened steel by controlling vibration amplitude in elliptical vibration cutting // *Precision Engineering*. 2011. No. 35. P. 44–50.
22. Gwo-Lianq Chern, Yuan-Chin Chang. Using two-dimensional vibration cutting for micro-milling // *International Journal of Machine Tools & Manufacture*. 2006. No. 46. P. 659–666.

### References

1. Lyubchenko V. I. *Rezaniye drevesiny i drevesnykh materialov* [Cutting wood and wood materials]. Moscow, Lesnaya promyslennost' Publ., 1986. 296 p. (In Russian)
2. Volkov S. A. The influence of dynamic loads on the strength and rheological behavior of solids (on the mechanisms of self-organization of crystal lattice defect structures in deformation zones). *Sinergetika i metody nauki* [Synergetics and methods of Science]. St. Petersburg, Nauka Publ., 1998, pp. 131–155 (In Russian).
3. Volkov S. A. The influence of cutting speed and vibration on the amount of effort in the cut zone. *Stroitel'nyye i dorozhnyye mashiny: doklady k XXIV nauchnoy konferentsii Leningradskogo inzhenerno-stroitel'nogo instituta* [Construction and road machines: report to XXIV scientific conference Leningrad Institute of Civil Engineering]. Leningrad, 1966, pp. 34–36 (In Russian).
4. Volkov S. A. *Fizicheskiye osnovy rabochikh protsessov mashin dlya izgotovleniya armatury zhelezobetonnykh konstruktsiy* [Physical bases of working processes of machines for the manufacture of reinforcement of reinforced concrete structures]. St. Petersburg, St. Petersburg university of State Architecture and Civil Engineering Publ., 2001. 125 p. (In Russian).
5. *Primeneniye ul'trazvuka v promyshlennosti* [Application of ultrasound in industry]. Ed. by A. I. Markov. Moscow, Mashinostroyeniye Publ.; Sofia, Technika Publ., 1975. 240 p. (In Russian).
6. Zeldovich L. B., Rajzer Yu. P. *Fizika udarnykh voln i vysokotemperaturnykh gidrodinamicheskikh yavleniy* [Physics of shock waves and high-temperature hydrodynamic phenomena]. Moscow, Nauka Publ., 1966. 686 p. (In Russian).
7. Dimla D. E. The Correlation of Vibration Signal Features to Cutting Tool Wear in a Metal Turning Operation. *Int. J. Adv. Manuf. Technol.*, 2002, no. 19, pp. 705–713.
8. Szwajka, K. Górski J. Evaluation Tool Condition of Milling Wood on the Basis of Vibration Signal. *Journal of Physics: Conference Series*, 2006, no. 48, pp. 1205–1209.
9. Philips S. Ogun, Michael R. Jackson. Active vibration control and real-time cutter path modification in rotary wood planning. *Mechatronics Volume*, 2017, no. 46, pp. 21–31.
10. Gwo-Lianq Chern, Han-Jou Lee. Using workpiece vibration cutting for micro-drilling. *Int. J. Adv. Manuf. Technol.*, 2006, no. 5, pp. 688–692.

11. Gorski J., Szymanowski K., Podziewski P., Smietanska K., Charniak P., Cyrankowski M. Use of cutting force and vibro-acoustic signals in tool wear monitoring based on multiple regression technique for compreg milling. *Sensing tool wear in milling. BioResources*, 2019, no. 14 (2), pp. 3379–3388.

12. Tratar J., Pusavec F., Kopac J. Tool wear in terms of vibration effects in milling medium-density fibreboard with an industrial robot. *Journal of Mechanical Science and Technology*, 2014, no. 28 (11), pp. 4421–4429.

13. Kovatchev G. Influence of the belt type over vibrations of the cutting mechanism in woodworking shaper. *Chip and chipless woodworking processes*, 2018, no. 11 (1), pp. 105–110.

14. Fang X. D., Yao Y., Arndt G. Monitoring groove wear development in cutting tools via stochastic modelling of three-dimensional vibrations. *Elsevier Sequoia, Lausanne. Wear*, 1991, no. 151, pp. 143–156.

15. Chuangwen Xu, Dou Jianming, Chai Yuzhen, Li Huauiyuan, Shi Zhicheng, Xu Jing. The relationships between cutting parameters, tool wear, cutting force and vibration. *Advances in Mechanical Engineering*, 2018, vol. 10 (1), pp. 1–14.

16. Gochev Z., Vukov G. Influence of the wearing of the saw unit elements of the wood shaper on the system vibration. *Acta facultatis xylologiae Zvolen*, 2017, no. 59 (2), pp. 147–153.

17. Tian J. F., Hutton S. G. Cutting-induced vibration in circular saws. *Journal of Sound and Vibration*, 2001, no. 242 (5), pp. 907–922.

18. Bhuiyan M. S. H., Choudhury I. A. Investigation of Tool Wear and Surface Finish by Analyzing Vibration Signals in Turning Assab-705 Steel. *Machining Science and Technology*, 2015, no. 19, pp. 236–261.

19. Nasir V., Cool J. Intelligent wood machining monitoring using vibration signals combined with self-organizing maps for automatic feature selection. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 2020, pp. 202–217.

20. Gauvent M., Rocca E., Meausoone P. J., Brenot P. Corrosion of materials used as cutting tools of wood. *Wear*, 2006, no. 261, pp. 1051–1055.

21. Suzuki N., Yokoi H., Shamoto E. Micro/nano sculpturing of hardened steel by controlling vibration amplitude in elliptical vibration cutting. *Precision Engineering*, 2011, no. 35, pp. 44–50.

22. Gwo-Lianq Chern, Yuan-Chin Chang. Using two-dimensional vibration cutting for micro-milling. *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, 2006, no. 46, pp. 659–666.

### 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

**Раповец Вячеслав Валерьевич** – кандидат технических наук, доцент кафедры деревообрабатывающих станков и инструментов. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: slavyan\_r@mail.ru

**Машорипова Татьяна Александровна** – аспирант кафедры деревообрабатывающих станков и инструментов. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: t.a.mashoripova@mail.ru

**Алифировец Григорий Васильевич** – инженер кафедры деревообрабатывающих станков и инструментов. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: alifirovez@tut.by

### Information about the authors

**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: garanin@wmt.by

**Rapovets Vyacheslav Valer'yevich** – 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: slavyan\_r@mail.ru

**Mashoripova Tatiana Aleksandrovna** – PhD student, the Department of Woodworking Machines and Tools. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: t.a.mashoripova@mail.ru

**Alifirovets Grigoriy Vasil'yevich** – engineer, the Department of Woodworking Machines and Tools. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: alifirovez@tut.by

Поступила 21.10.2022