

УДК 674.093.6

С. А. Гриневич, Д. П. Бабич, А. В. Макаревич
Белорусский государственный технологический университет
**ОЦЕНКА УПРОЩЕННОГО МЕТОДА ОПРЕДЕЛЕНИЯ
РЕЖИМОВ ПИЛЕНИЯ**

В статье произведена оценка упрощенного метода определения скорости подачи бревен при их распиловке на лесопильных станках различного типа. Необходимость проведения данной работы вызвана важностью правильного определения этого параметра режима пиления как для разработки грамотного технологического процесса распиловки бревен с получением качественной пилопродукции, так и для корректного планирования работы лесопильных цехов. Существующие методы точного расчета скорости подачи весьма трудо- и времязатратны, поэтому использование упрощенного метода позволит значительно облегчить работу технологов лесопильных предприятий. Однако следует убедиться в том, что исследуемый метод позволяет рассчитывать скорость подачи с небольшой погрешностью и, следовательно, может применяться для практических и учебных расчетов.

При проведении анализа исследуемого метода расчета авторы предположили, что скорость подачи находится в обратно пропорциональной зависимости от диаметра распиливаемых бревен. Таким образом, зная из характеристик станка минимальную и максимальную скорости подачи, а также минимальный и максимальный диаметры распиливаемых бревен, можно эту зависимость найти и использовать для определения скорости подачи для других диаметров обрабатываемого материала. Анализ методов для точного расчета показал, что при использовании как метода расчета, разработанного профессором А. Л. Бершадским, так и степенной формулы зависимость скорости подачи от диаметра бревен носит более сложный характер. Были проведены расчеты с целью определения величины погрешности расчета скорости подачи при использовании упрощенного метода в сравнении с методом профессора А. Л. Бершадского. После анализа результатов этих расчетов были сделаны следующие основные выводы: методика упрощенного расчета скорости подачи может применяться для станков, в которых максимальная и минимальная скорости подачи определяются условием полного использования мощности привода узла резания; погрешность определения скорости подачи уменьшается с уменьшением диапазона диаметров бревен, которые могут быть распилены на станке.

Ключевые слова: бревно, скорость подачи, упрощенный метод, подача на зуб, погрешность.

Для цитирования: Гриневич С. А., Бабич Д. П., Макаревич А. В. Оценка упрощенного метода определения режимов пиления // Труды БГТУ. Сер. 1, Лесное хоз-во, природопользование и перераб. возобновляемых ресурсов. 2023. № 2 (270). С. 245–250. DOI: 10.52065/2519-402X-2023-270-2-29.

S. A. Grinevich, D. P. Babich, A. V. Makarevich
Belarusian State Technological University
**EVALUATION OF A SIMPLIFIED METHOD FOR SAWING
REGIMES DETERMINING**

The article assesses a simplified method of determining the feed rate of logs when sawing them with sawmill machines of different types. The necessity of this work is caused by the importance of correct determination of this parameter of sawing mode as for the development of a competent technological process of log sawing with obtaining of qualitative lumber products, and for correct planning of sawmills' work. Existing methods of accurate calculation of feed rate are very labor- and time-consuming, so the use of a simplified method will greatly simplify the work of sawmill technologists. However, it is necessary to make sure that the investigated method allows to calculate the feed rate with a small error and, consequently, can be used for practical and educational calculations.

During the analysis of the investigated method of feed rate calculation it was found that its authors assumed that the feed rate is in inverse proportional dependence on the diameter of sawn logs. Thus, knowing from the machine characteristics the minimum and maximum feed rate, as well as the minimum and maximum diameter of the sawing logs, this dependence can be found and used to determine the feed rate for other diameters of the processing material. Analysis of methods for exact calculation showed that both when using the calculation method developed by Professor A. L. Bershadsky, and when using the power formula, the dependence of the feed rate on the diameter of logs has a more complex nature. Calculations to determine the magnitude of the error in calculating the feed rate when using the simplified method in comparison with the method of Professor Bershadsky were conducted. Having analyzed the

results of these calculations the following main conclusions were made. The method of simplified calculation of the feed rate can be used for machines in which the maximum and minimum feed rates are determined by the condition of full use of the power of the cutting unit drive. The error in determining the feed rate decreases as the range of log diameters that can be sawn on the machine decreases.

Keywords: log, feed rate, simplified method, feed per tooth, error.

For citation: Grinevich S. A., Babich D. P., Makarevich A. V. Evaluation of the simplified method for sawing regimes determining. *Proceedings of BSTU, issue 1, Forestry. Nature Management. Processing of Renewable Resources*, 2023, no. 2 (270), pp. 245–250. DOI: 10.52065/2519-402X-2023-270-2-29 (In Russian).

Введение. Продольная распиловка бревен является первой технологической операцией механической обработки древесины. Для выполнения этой операции в настоящее время применяется большое количество разнообразного оборудования: лесопильные рамы, круглопильные и ленточнопильные станки, фрезернопильные станки и линии. Все перечисленные типы станков имеют свои достоинства и недостатки, но на каждом из них можно получить качественную продукцию, если применять рациональные режимы распиловки. Основным параметром режима пиления древесины, влияющим на качество получаемой продукции, а также на производительность лесопильного оборудования, является скорость подачи сырья.

Скорость подачи бревен при их продольной распиловке зависит от большого количества факторов, которые определяются характеристиками сырья (например, порода и влажность древесины, диаметр бревен), характеристиками применяемого оборудования (установленная мощность), характеристиками используемого инструмента (количество зубьев пилы, объем впадин зубьев, ширина пропила) и требованиями к качеству получаемых пиломатериалов (шероховатость их поверхности). При этом скорость подачи следует выбирать так, чтобы обеспечивалась наибольшая производительность лесопильного оборудования.

Правильное определение скорости подачи важно не только при разработке технологического режима пиления древесного сырья, но и при планировании работы лесопильного цеха, а именно при определении производительности бревнопильного оборудования [1]. Ошибка при определении производительности лесопильного оборудования, вызванная неправильно определенной скоростью подачи, может привести к невыполнению производственного плана. Кроме того, при использовании лесопильных линий, состоящих из нескольких бревнопильных станков, неправильное определение скорости подачи для каждого из них может привести к нарушению ритмичности работы всей линии и снижению ее фактической производственной мощности по сравнению с расчетной.

Учитывая важность этого параметра режима пиления, многие ученые занимались разработкой

методики его определения [2–4], из недавних исследований можно выделить работу [5]. На основании этих исследований еще в СССР были разработаны нормативные документы по определению рациональных скоростей подачи бревен [6–8]. Следует отметить, что все вышеупомянутые методики по определению рациональных скоростей подачи требуют выполнения достаточно трудоемких и затратных по времени расчетов. Для облегчения труда технологов лесопильных предприятий в нашем университете проводились работы по построению графиков для определения скоростей подачи при распиловке бревен и брусьев на многопильных круглопильных станках [9]. Однако эти графики справедливы только для многопильных круглопильных станков определенных марок, а в настоящее время в лесопильных цехах предприятий нашей страны устанавливаются бревнопильные станки различных производителей и разных типов, для которых построенные графики не могут быть использованы. Требуется либо разработка более универсальных графиков для определения скорости подачи независимо от типа и марки применяемого оборудования, либо применение упрощенных методов по определению рациональной скорости подачи. Один из таких методов представлен в работах [10, 11].

Целью данной работы является оценка точности определения скорости подачи с использованием упрощенного метода, а также возможности его применения для практических расчетов.

Основная часть. Согласно работам [10, 11] примерная скорость подачи бревен может быть определена по следующей системе формул (1):

$$\begin{cases} \frac{G_0}{d_{\max}} + G_1 = V_{S_{\min}}; \\ \frac{G_0}{d_{\min}} + G_1 = V_{S_{\max}}, \end{cases} \quad (1)$$

где G_0 и G_1 – коэффициенты аппроксимации; d_{\max} – наибольший диаметр бревен, мм; $V_{S_{\min}}$ – минимальная скорость подачи распиливаемого сырья, м/мин; d_{\min} – наименьший диаметр бревен, мм; $V_{S_{\max}}$ – максимальная скорость подачи распиливаемого сырья, м/мин.

Полученные в результате решения системы (1) коэффициенты аппроксимации G_0 и G_1 подставляются в формулу (2) для определения скорости подачи V_S :

$$V_S = \frac{G_0}{d} + G_1, \quad (2)$$

где d – произвольный диаметр бревна, для которого определяется скорость подачи, мм.

Коэффициенты аппроксимации G_0 и G_1 определяются один раз для выбранного типа оборудования.

Таким образом, в данной методике предполагается, что скорость подачи бревна обратно пропорциональна его диаметру. Причем подчеркивается, что полученная скорость подачи примерная. Для использования данной методики необходимо оценить точность получаемого результата.

Согласно теории профессора А. Л. Бершадского [2, 12] средняя касательная сила резания определяется как

$$F = \left[a_p \cdot p \cdot b + S_z \cdot \sin \Theta \cdot (k \cdot b + \alpha \cdot h) \right] \cdot \frac{l}{t}, \quad (3)$$

где a_p – коэффициент, учитывающий затупление зуба; p – фиктивная удельная сила резания по задней поверхности зуба, Н/мм; b – ширина пропила, мм; S_z – подача на зуб, мм; Θ – средний кинематический угол встречи, град; k – среднее давление резания по передней поверхности зуба, Н/мм²; α – коэффициент интенсивности трения, прессования и перемещения стружки во впадине зуба, Н/мм²; h – высота пропила, мм; l – длина дуги контакта, мм; t – шаг зуба, мм.

Диаметр распиливаемого бревна d определяет величину высоты пропила h .

Величина средней касательной силы резания может быть определена из технической характеристики оборудования по соотношению:

$$F = \frac{1000 \cdot P}{V}, \quad (4)$$

где P – полезная мощность на резание, кВт; V – скорость резания, м/с.

Для конкретного оборудования F является величиной постоянной.

Из формулы (3) выразим подачу на зуб S_z :

$$S_z = \frac{F \cdot \frac{t}{l} - a_p \cdot p \cdot b}{\sin \Theta \cdot (k \cdot b + \alpha \cdot h)}, \quad (5)$$

Для наглядности и простоты рассмотрим процесс ленточного пиления. В этом случае выражение (5) упрощается, так как средний кинематический угол встречи $\Theta \approx 90^\circ$. Соответственно, $\sin \Theta = 1$, $l = h$, а величины p и k становятся константами (не зависят от h) [12, 13].

Тогда выражение (5) переписывается в виде

$$S_z = \frac{F \cdot \frac{t}{h} - a_p \cdot p \cdot b}{k \cdot b + \alpha \cdot h} \quad (6)$$

или

$$S_z = \frac{F \cdot t}{k \cdot b \cdot h + \alpha \cdot h^2} - \frac{a_p \cdot p \cdot b}{k \cdot b + \alpha \cdot h}. \quad (7)$$

Величина S_z определяет скорость подачи V_S [13, 14]:

$$V_S = \frac{60 \cdot S_z \cdot V}{t}. \quad (8)$$

Подставив выражение (7) в (8), получим следующую формулу:

$$V_S = \left[\frac{F \cdot t}{k \cdot b \cdot h + \alpha \cdot h^2} - \frac{a_p \cdot p \cdot b}{k \cdot b + \alpha \cdot h} \right] \cdot \frac{60 \cdot V}{t}. \quad (9)$$

Таким образом, согласно теории резания профессора А. Л. Бершадского зависимость скорости подачи от высоты пропила (диаметра бревна) носит более сложный характер, чем предлагается в выражении (2).

Рассмотрим метод расчета по степенным формулам [3, 4]:

$$P = C_p \cdot S_z^a \cdot h^K \cdot V^{1,2} \cdot \delta^{1,14} \cdot \rho^{0,28} \cdot W^{0,05} \times \gamma_0^{1,45} \cdot b^m, \quad (10)$$

где C_p , a , K , m – константы, зависящие от способа уширения пропила; ρ – радиус затупления зуба пилы, мкм; W – влажность древесины, %.

Аналогично, из формулы (10) выразим подачу на зуб S_z :

$$S_z = \sqrt[a]{\frac{P}{C_p \cdot h^K \cdot V^{1,2} \cdot \delta^{1,14} \cdot \rho^{0,28} \cdot W^{0,05} \cdot \gamma_0^{1,45} \cdot b^m}}. \quad (11)$$

Так как только один сомножитель содержит h , а остальные являются константами, то можно записать

$$S_z = \frac{A}{h^a}, \quad (12)$$

где A – константа.

Так, для плющенных зубьев $a = 0,97$; $K = 1,43$, а для разведенных $a = 0,88$; $K = 1,41$ [3].

Тогда подача на зуб для пилы с плющеными зубьями

$$S_{z\Delta} = \frac{A}{h^{1,47}}, \quad (13)$$

а с разведенными зубьями

$$S_{z\lambda} = \frac{A}{h^{1,6}}. \quad (14)$$

С учетом полученных выражений (13) и (14) зависимость (8) может быть записана для ленточных пил с плющеными и разведенными зубьями как

$$V_{S_{\Delta}} = \frac{60 \cdot A \cdot V}{t \cdot h^{1,47}}, \quad (15)$$

$$V_{S_{\lambda}} = \frac{60 \cdot A \cdot V}{t \cdot h^{1,6}}. \quad (16)$$

Выражения (15) и (16) также не соответствуют обратной пропорциональности.

Проверим зависимости на практике. Выполним расчет скорости подачи для отечественного вертикального ленточнопильного станка ЛБ100-1 по методике проф. А. Л. Бершадского. Для данного станка диаметр бревен составляет от 100 до 600 мм. Результат расчета приведен в виде графика на рис. 1. Согласно расчету $V_{S_{\min}} = 7$ м/мин, $V_{S_{\max}} = 141$ м/мин.

Выполним аппроксимацию по предложенному упрощенному методу, приняв следующие значения $d_{\min} = 100$ мм; $d_{\max} = 600$ мм; $V_{S_{\min}} = 7$ м/мин, $V_{S_{\max}} = 141$ м/мин.

Решая систему уравнений (1) с указанными параметрами, получим $G_0 = 16\,080$; $G_1 = -19,8$. Подставив эти значения в уравнение (2), построим график (рис. 1).

На рис. 1 показано, что зависимости довольно близки, но при использовании аппроксимирующей зависимости привод станка будет перегружен. Максимальное отклонение аппроксимирующей зависимости от зависимости, построенной по методике профессора А. Л. Бершадского, наблюдается при $h = 208$ мм и составляет 15,1%.

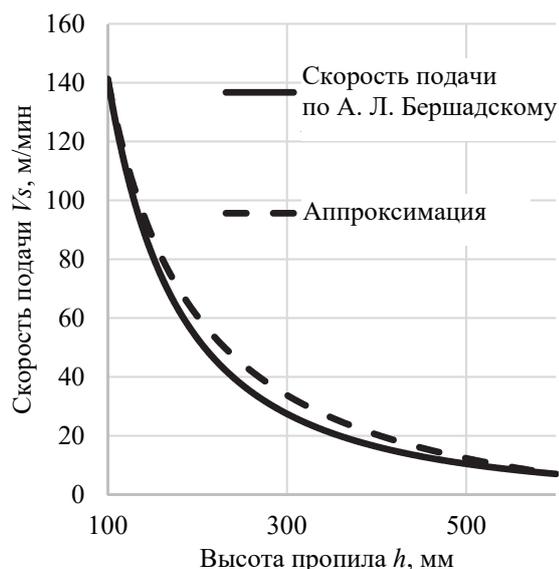


Рис. 1. График зависимости скорости подачи от высоты пропила с учетом полного использования мощности привода главного движения

Очевидно, что чем меньше рассматриваемый диапазон высот пропила, тем меньше будет разность значений. Например, при расчете для диапазона диаметров бревен от 300 до 600 мм отклонение существенно уменьшается и составляет всего 5,8%.

Однако деревообрабатывающее оборудование, как правило, проектируется таким образом, чтобы минимальной скорости подачи соответствовала распиловка максимального диаметра бревна максимальным количеством пил. Максимальная же скорость подачи может ограничиваться не возможностями узла резания, а конструкторски.

По технической характеристике скорость подачи на станке ЛБ100-1 варьируется от 5 до 45 м/мин. Таким образом, при распиловке диаметров меньше чем 222 мм привод резания станка будет недогружен, и фактический график зависимости скорости подачи от высоты пропила будет выглядеть, как на рис. 2.

Выполним аппроксимацию по технической характеристике станка, приняв $d_{\min} = 100$ мм; $d_{\max} = 600$ мм; $V_{S_{\min}} = 5$ м/мин, $V_{S_{\max}} = 45$ м/мин.

Решая систему уравнений (1) с вышеуказанными параметрами, получим $G_0 = 4800$; $G_1 = -3$. Подставив эти значения в уравнение (2), построим график (рис. 2). Очевидно, что при использовании аппроксимирующей зависимости привод станка будет уже недогружен. Наибольшая разбежка между значениями скорости подачи, полученными по теории А. Л. Бершадского и по выражению (2), наблюдается при $h = 222$ мм и достигает 26,4%.

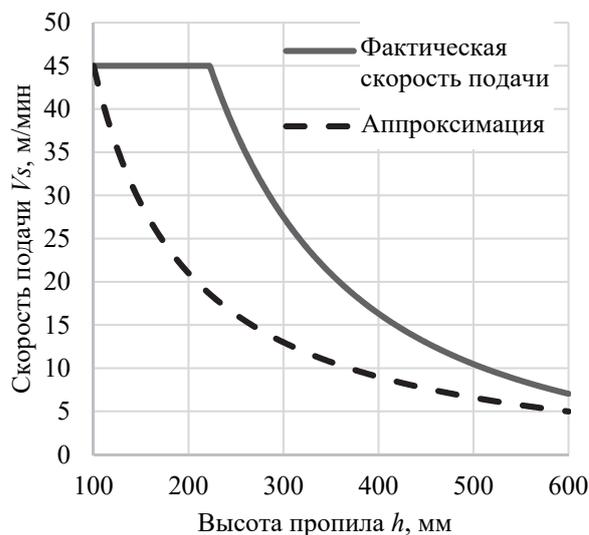


Рис. 2. График зависимости скорости подачи от высоты пропила с учетом полного использования мощности привода главного движения и ограничений привода подачи

Заключение. Проведя теоретические исследования, в частности для ленточного пиления, установлено, что зависимость скорости подачи

от высоты пропила (диаметра распиливаемого бревна) носит более сложный характер, чем предполагает упрощенный метод.

В результате выполнения расчетов скорости подачи для промышленного ленточнопильного станка ЛБ100-1 по теории А. Л. Бершадского и по упрощенному методу получено, что максимальное расхождение между ними составляет до 15,1%.

При уменьшении диапазона диаметров распиливаемого материала расхождение значений скорости подачи уменьшается. Так, в рассмотрен-

ном примере при уменьшении диапазона диаметров с 500 до 300 мм максимальное отклонение в результатах расчета составило 5,8%.

В случае если максимальная скорость подачи ограничена конструктивно, то применение упрощенного метода даст существенную ошибку. В частности, для станка ЛБ100-1 использование упрощенного метода привело к занижению скорости подачи, а соответственно, и спаду производительности до 26,4%, что, безусловно, весьма существенно.

Список литературы

1. Калитеевский Р. Е. Лесопиление в 21 веке. Технология, оборудование, менеджмент. СПб.: ПрофиКС, 2008. 499 с.
2. Бершадский А. Л., Цветкова Н. И. Резание древесины. Минск: Выш. шк., 1975. 303 с.
3. Грубе А. Э., Санев В. И. Основы теории и расчета деревообрабатывающих станков, машин и автоматических линий. М.: Лесная пром-сть, 1973. 384 с.
4. Любченко В. И. Резание древесины и древесных материалов: учеб. пособие для вузов. М.: Лесн. пром-сть, 1986. 296 с.
5. Щепочкин С. В. Режимы резания древесины в круглопильных станках по теплостойкости материала инструмента: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.21.05. Екатеринбург, 2012. 16 с.
6. Остроумов И. П., Кумин В. К., Прокопьев Г. Ф. Руководящие технические материалы по определению режимов пиления (посылок) бревен и брусьев хвойных и лиственных пород на лесопильных рамах. Архангельск: ЦНИИМОД, 1987. 82 с.
7. Стахийев Ю. М., Пашков В. К. Руководящие технические материалы по определению режимов пиления древесины круглыми пилами. Архангельск: ЦНИИМОД, 1988. 74 с.
8. Жернокуй М. А. Руководящий технический материал. Режимы пиления на ленточнопильных станках. Красноярск: СибНИИЛП, 1986. 30 с.
9. Лисица В. С., Фидельский С. С., Бабич Д. П. Диаграммы для определения скорости подачи бревен и брусьев при их распиловке на многопильных круглопильных станках // 72-я науч.-техн. конф. учащихся, студентов и магистрантов: сб. науч. работ, Минск, 12–23 апр. 2021 г. Минск, 2021. С. 182–184.
10. Тамби А. А., Артеменков А. М. Технология лесопильного производства. Планирование раскроя сырья и расчет производственной мощности лесопильного цеха: учеб. пособие. Якутск: ЯГСХА, 2019. 76 с.
11. Методика расчета процессов обрезки досок / Р. Е. Калитеевский [и др.] // Лесной журнал. 2008. № 3. С. 101–106.
12. Бершадский А. Л. Расчет режимов резания древесины. М.: Лесн. пром-сть, 1967. 175 с.
13. Гришкевич А. А. Механическая обработка древесины и древесных материалов, управление процессами резания: учеб.-метод. пособие. Минск: БГТУ, 2012. 109 с.

References

1. Kaliteevskiy R. E. *Lesopileniye v 21 veke. Tekhnologiya, oborudovaniye, menedzhment* [Sawmilling in the 21st century. Technology, equipment, management]. St. Petersburg, ProfiKS Publ., 2008. 499 p. (In Russian).
2. Bershadskiy A. L., Czvetkova N. I. *Rezaniye drevesiny* [Wood cutting]. Minsk: Vysheyshaya shkola Publ., 1975. 303 p. (In Russian).
3. Grube A. E., Saney V. I. *Osnovy teorii i rascheta derevoobrabatyvayushchikh stankov, mashin i avtomaticheskikh liniy* [Basics of theory and calculation of woodworking machines, machines and automatic lines]. Moscow, Lesnaya promyshlennost' Publ., 1973. 384 p. (In Russian).
4. Lyubchenko V. I. *Rezaniye drevesiny i drevesnykh materialov* [Cutting wood and wood materials]. Moscow, Lesnaya promyshlennost' Publ., 1986. 296 p. (In Russian).
5. Shchepochkin S. V. *Rezhimy rezaniya drevesiny v kruglopil'nykh stankakh po teplostoykosti materiala instrumenta. Avtoreferat dissertatsii kandidata tekhnicheskikh nauk* [Cutting modes of wood in circular sawing machines according to the heat resistance of the tool material. Abstract of thesis PhD (Woodworking)]. Ekaterinburg, 2012. 16 p. (In Russian).
6. Ostroumov I. P., Kumin V. K., Prokop'ev G. F. *Rukovodyashchiye tekhnicheskiye materialy po opredeleniyu rezhimov pileniya (posylok) breven i brus' yev khvoynykh i listvennykh porod na lesopil'nykh*

ramakh [Guiding technical materials for determining the modes of sawing (parcels) of logs and beams of coniferous and deciduous species on sawmills]. Arkhangel'sk, TsNIIMOD Publ., 1987. 82 p. (In Russian).

7. Stakhiev Yu. M., Pashkov V. K. *Rukovodyashchiye tekhnicheskiye materialy po opredeleniyu rezhimov pileniya drevesiny kruglymi pilami* [Technical guidelines for determining the modes of sawing wood with circular saws]. Arkhangel'sk, TsNIIMOD Publ., 1988. 74 p. (In Russian).

8. Zhernokuy M. A. *Rukovodyashchiy tekhnicheskiy material. Rezhimy pileniya na lentochnopil'nykh stankakh* [Technical guidance material. Sawing modes on band saws]. Krasnoyarsk, SibNIILP Publ., 1986. 30 p. (In Russian).

9. Lisitsa V. S., Fidel'skiy S. S., Babich D. P. Diagrams for determining the feed rate of logs and beams during their sawing on multi-saw circular sawing machines. *72-ya nauchno-tekhnicheskaya konferentsiya uchashchikhsya, studentov i magistrantov: sbornik nauchnykh rabot* [72nd scientific and technical conference of learner, students and undergraduates: collection of scientific papers]. Minsk, 2021, pp. 182–184 (In Russian).

10. Tambi A. A., Artemenkov A. M. *Tekhnologiya lesopil'nogo proizvodstva. Planirovaniye raskroya syr'ya i raschet proizvodstvennoy moshchnosti lesopil'nogo tsekha* [Technology of sawmill production. Planning of raw material cutting and calculation of the production capacity of the sawmill workshop]. Yakutsk, YaGSKhA Publ., 2019. 76 p. (In Russian).

11. Kaliteevskiy R. E., Tambi A. A., Gavryukov A. V., Artemenkov A. M., Toropov V. M. The method of calculating the processes of cutting boards. *Lesnoy zhurnal* [Forest journal], 2008, no. 3, pp. 101–106 (In Russian).

12. Bershadskiy A. L. *Raschet rezhimov rezaniya drevesiny* [Calculation of wood cutting modes]. Moscow, Lesnaya promyshlennost' Publ., 1967. 175 p. (In Russian).

13. Grishkevich A. A. *Mekhanicheskaya obrabotka drevesiny i drevesnykh materialov, upravleniye protsessami rezaniya* [Mechanical processing of wood and wood materials, management of cutting processes]. Minsk, BGTU Publ., 2012. 109 p. (In Russian).

Информация об авторах

Гриневиц Сергей Анатольевич – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры деревообрабатывающих станков и инструментов. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: gres410a@yandex.ru

Бабич Дмитрий Павлович – старший преподаватель кафедры технологии деревообрабатывающих производств. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: babich_tdp@mail.ru

Макаревич Андрей Викторович – студент. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: dosy@belstu.by

Information about the authors

Grinevich Sergey Anatol'yevich – PhD (Engineering), Associate Professor, Assistant Professor, the Department of Woodworking Machines and Tools. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: gres410a@yandex.ru

Babich Dmitriy Pavlovich – Senior Lecturer, the Department of Woodworking Technology. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., Minsk, 220006, Republic of Belarus). E-mail: babich_tdp@mail.ru

Makarevich Andrey Viktorovich – student. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: dosy@belstu.by

Поступила 15.03.2023