



РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПРОЦЕССА РАЗРЕЗАНИЯ ДРЕВЕСИНЫ МЯГКИХ ПОРОД ДИСКОВЫМИ НОЖАМИ

✉ Владимир П. Ивановский¹, pppkvalitet@mail.ru

¹ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова», ул. Тимирязева, 8, г. Воронеж, 394087, Россия

Процессы бесстружечного деформирования древесины посредством силового поля менее трудоемки и не связаны со значительными энергозатратами и безвозвратными отходами, как при обработке такой древесины стружечным резанием. Для определения усилия разрезания на лабораторной установке был проведен факторный эксперимент для двух основных факторов: диаметра окружности резания и угла заострения дискового ножа. Затем для оценки дисперсии, характеризующей ошибку эксперимента, была поставлена отдельная серия опытов из 5 в центре плана, т. е. в условиях, когда каждый фактор варьируется на основном уровне. Получена математическая модель в натуральных значениях факторов для силового деформирования диском древесины. Далее исследовались следующие влияющие факторы: толщина древесины и скорость подачи. Анализ полученного уравнения регрессии указывает на то, что толщина разрезаемой заготовки оказывает основное влияние на мощность резания, что накладывает ограничение на скорость подачи. Следующий 4-факторный эксперимент позволил выявить совместное влияние названных факторов, а также влажности древесины и длины реза на качественные показатели процесса разрезания дисковыми ножами. Анализ адекватности полученного уравнения регрессии показал его высокую точность и позволил выявить влияние доминирующих внешних факторов на качество разделяемых поверхностей.

Ключевые слова: разрезание, мягкие породы, дисковые ножи, силовое деформирование, факторный эксперимент

Благодарности: автор благодарит рецензентов за вклад в экспертную оценку статьи.

Конфликт интересов: автор заявил об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Ивановский, В. П. Результаты экспериментальных исследований процесса разрезания древесины мягких пород дисковыми ножами / В. П. Ивановский // Лесотехнический журнал. – 2021. – Т. 11. – № 2 (42). – С. 99–107. – Библиогр.: с. 105–107 (14 назв.). – DOI: <https://doi.org/10.34220/issn.2222-7962/2021.2/10>.

Поступила: 26.02.2021 **Принята к публикации:** 25.05.2021 **Опубликована онлайн:** 01.07.2021

RESULTS OF EXPERIMENTAL STUDIES OF THE PROCESS OF CUTTING SOFT WOOD USING DISC BLADES

✉ Vladimir P. Ivanovsky¹, nppkvalitet@mail.ru

¹Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, Timiryazev str., 8, Voronezh, 394087, Russian Federation

Abstract

The processes of chipless deformation of wood by means of a force field are less laborious and are not associated with significant energy consumption and irrecoverable waste, as in the processing of such wood by chip cutting. To determine the cutting force on a laboratory setup, a factorial experiment was carried out for two main factors: the diameter of the cutting circle and the sharpening angle of the circular blade. Then, to estimate the variance characterizing the experimental error, a separate series of 5 experiments was set in the center of the plan, i.e. in conditions where each factor varies at the basic level. A mathematical model in natural values of the factors for the force deformation of wood by a disk has been obtained. Further, the following influencing factors have been investigated: wood thickness and feed rate. The analysis of the obtained regression equation indicates that the thickness of the cut workpiece has a major influence on the cutting power, which imposes a limitation on the feed rate. The next 4-factor experiment made it possible to reveal the combined influence of the named factors, as well as the moisture content of the wood and the length of the cut, on the quality indicators of the cutting process with circular knives. The analysis of the adequacy of the obtained regression equation showed its high accuracy and made it possible to reveal the influence of dominant external factors on the quality of the separated surfaces.

Keywords: cutting, softwood species, circular blades, force deformation, factorial experiment

Acknowledgments: The author thanks the reviewers for their contribution to the peer review of this work.

Conflict of interest: the author declares no conflict of interest.

For citation: Ivanovsky V. P. (2021) Results of experimental studies of the process of cutting soft wood using disc blades. *Lesotekhnicheskii zhurnal* [Forest Engineering journal], Vol. 11, No. 2 (42), pp. 99-107 (in Russian). DOI: <https://doi.org/10.34220/issn.2222-7962/2021.2/10>.

Received: 26.02.2021 **Accepted for publication:** 25.05.2021 **Published online:** 01.07.2021

Введение

В настоящее время в деревообработке широко используются малоценные и быстрорастущие породы древесины мягких пород, таких как тополь, осина, ольха, а также сосна, которую тоже можно отнести к мягким породам древесины [1-4]. Обработка такой древесины традиционным делительным инструментом – пилами – достаточно энергоемка и требует дополнительного снижения шероховатости с использованием процессов фрезерования и шлифования [3-5]. Кроме того, в процессе обработки таким инструментом до 30 % деловой древесины отходит в опилки и стружку [1-5]. Ос-

новы бесстружечного деления, заложенные основоположником процессов прессования древесины П.Н. Хухрянским [1], использованы для разработки дисковых ножей. Их конструкции разрабатывались с учетом свойств самой древесины мягких пород. Использование в процессах разрезания древесины дисковых ножей позволит снизить уровень пыли в процессе обработки, повысить качество разделяемых поверхностей, а также значительно снизить энергоемкость процессов деления древесины.

Повысить производительность процессов разрезания дисковыми ножами возможно только при безусловном обосновании режимов резания

ими, а именно: выявить оптимальные значения доминирующих внешних факторов, позволяющих получить высококачественную поверхность реза с меньшей энергоемкостью [5-10].

Почти все современные исследования процессов разрезания древесины производились с учетом статических нагрузок, хотя деформативно-прочностные свойства древесины мягких пород значительно меняются при динамическом нагружении.

До настоящего времени не выявлены факторы, влияющие на процесс силового деформирования древесины дисковыми ножами, а также степень их влияния на силовые и качественные показатели процесса разрезания древесины мягких пород [10-14].

Материалы и методы

В исследованиях использовались заготовки из древесины мягких лиственных пород, лабораторная установка на основе заточного станка и позиционные круглопильные станки типа КС-2. В лабораторных условиях поставлен двухфакторный эксперимент с использованием дисковых ножей с различными углами заострения и диаметрами [1]. Поставлен 2-факторный эксперимент ПФП 2³.

Подготовка задачи к решению на ЭВМ проводилась по стандартной подпрограмме, методом наименьших квадратов.

Для оценки дисперсии, характеризующей ошибку, поставим отдельную серию из пяти опытов в центре плана, т. е. в условиях, когда каждый фактор варьируется на основном уровне. Вычисление велось по стандартной задаче минимизации функции. Входные параметры программы:

- 1) EPS – точность вычислений 0,0001;
- 2) Изменение параметров x_1 и x_2 :
 $x_1 = 200 \dots 400$; $x_2 = 30 \dots 60$.

Чтобы убедиться в воспроизводимости процесса и уменьшении погрешности модели, каждый из 9 опытов повторялся трижды, и для каждой серии опытов вычислялось среднее арифметическое значение \bar{y}_i (столбец 10 табл. 1).

При планировании эксперимента по выявлению шероховатости поверхности пиломатериалов, полученных при продольном делении древесины осины, в качестве переменных было выбрано четы-

ре фактора: влажность древесины W , %; высота заготовки H , мм; подача на зуб V_s , мм; длина разреза L , м. Резание проводилось диском с двумя радиусами резания. Влияющие факторы выбирались на основе метода экспертных оценок 100 пользователей.

Результаты и обсуждение

Полученная математическая модель представляется в виде

$$\hat{y} = 5,238 - 1,253x_1 - 0,885x_2 + x_1^2 + 2,325x_2^2 - 0,325x_1x_2 \quad (1)$$

Модель в натуральных значениях факторов:

$$F_x = 1,375 + 2,825 \left(\frac{x_1 - 300}{100} \right)^2 + 2,325 (x_2 - 45) \cdot 15^2 \quad (2)$$

На рис. 1 представлены графики зависимостей $F_x = f(x_1)$ и $F_x = f(x_2)$ при стабилизации факторов x_1 и x_2 на 2^х уровнях: экстремальном и нулевом. Из графиков видно, что наименьшее значение усилия резания достигается с применением дереворежущих дисков, имеющих угол заострения 45° и диаметр 4300 мм при толщине диска, равной 5 мм. Подготовка задачи к решению на ЭВМ проводилась по стандартной подпрограмме, методом наименьших квадратов.

Регрессионную модель можно представить в виде

$$\hat{y} = f(x_1, x_2, \dots, x_n) \quad (3)$$

или

$$\hat{y} = b_0 f_0(x_1, x_2, \dots, x_n) + b_1 f_1(x_1, x_2, \dots, x_n) + \dots + b_k f_k(x_1, x_2, \dots, x_n) \quad (4)$$

где f_0, f_1, f_k – базисные функции.

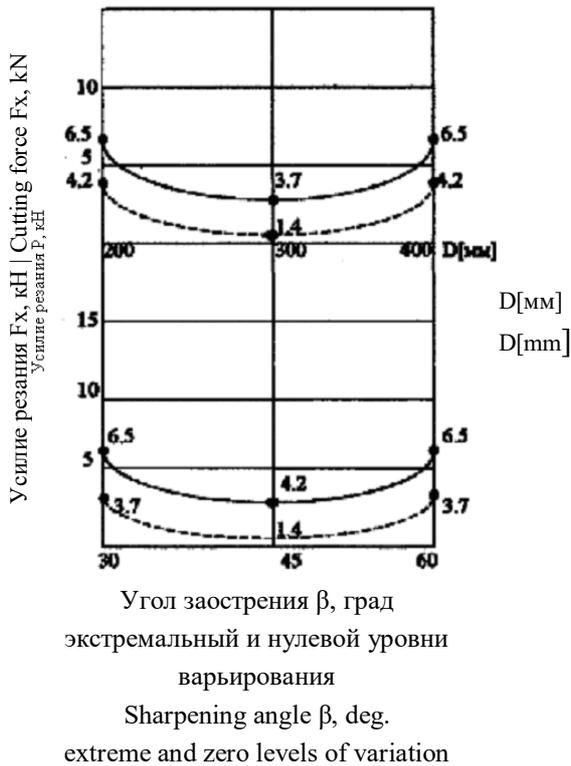


Рис. 1. Графики зависимостей $F_x=f(x_1)$; $F_x=f(x_2)$
Figure 1. Graphs of dependencies $F_x=f(x_1)$; $F_x=f(x_2)$

Источник: собственная композиция автора
Source: author's composition

В результате получена итоговая математическая модель объекта – процесса силового деформирования древесины мягких пород в натуральных значениях факторов:

$$\hat{y} = 1,375 + 2,825x_1^2 + 2,325x_2^2, \quad (5)$$

где X_1 – диаметр режущего диска, D, мм:
 $2300 \leq x_1 \leq 400$

X_2 – угол заострения, град,
 $30 \leq x_2 \leq 60$

Для исследования итоговой модели объекта составлена программа для расчета на ЭВМ, и далее проводилось математическое моделирование процесса на ЭВМ [1]. В результате выполнения программы получены графики изменения усилия резания (y) от переменных x_1 и x_2 . В каждом из графиков была зафиксирована величина x_2 и происходило изменение лишь по x_1 в диапазоне 200...400 мм при $x_2 = 30, 45, 60$ градусов.

В результате выполнения программы были получены оптимальные значения переменных:

$x_1 = 39210.0034$ (мм) – диаметр диска;
 $x_2 = 43.0011$ (град.) – угол заострения.

Теоретическая кривая рассчитана на ЭВМ для заданных условий резания, экспериментальная получена на станке КС-2.

Экспериментальные исследования подтвердили адекватность математической модели контактного взаимодействия инструмента с древесиной. Величина контактного давления установлена посредством расчетов из усилия резания, определенного с помощью комплекса К-50. Расхождение между расчетными и реальными значениями не превысило 5%. На графиках (рис. 2) представлена экспериментальная кривая, полученная при резании заготовок из древесины ольхи.

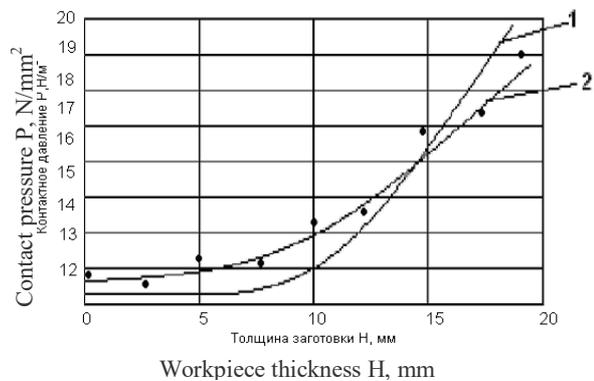


Рис. 2. Зависимость контактного давления между диском и древесиной от толщины заготовок древесины ольхи: 1 – теоретическая кривая; 2 – экспериментальная

Figure 2. Dependence of the contact pressure between the disc and the wood on the thickness of alder wood blanks: 1 – theoretical curve; 2 – experimental

Источник: собственная композиция автора
Source: author's composition

Другими факторами, влияющими на процесс резания, исходя из результатов анкетирования, явились толщина древесины и скорость подачи заготовки. Разрезалась древесина осины на станке КС-2. Матрица планирования для этих двух факторов и результаты эксперимента представлены в табл. 1. Полученные коэффициенты регрессии оказались значимыми, за исключением коэффициента b_{11} , поэтому в дальнейшем он не учитывался.

Окончательный вид уравнения регрессии

$$\hat{y} = 5,34 + 3,52x_1 + 2,9x_2 + 2,16x_1x_2 - 1,11x_2^2. \quad (6)$$

Оценка дисперсии адекватности при числе степеней свободы, связанных с дисперсией адекватности, $f_{ад} = 4$ по критерию Фишера позволила принять гипотезу об адекватности полученного уравнения регрессии.

Например, для второго опыта

$$\bar{y}_2 = \frac{1}{3}(y_1 + y_2 + y_3) = \frac{1}{3}(2.93 + 1.63 + 2.31) = 2.29$$

Затем вычислялась оценка дисперсии для каждой серии опытов с определением разброса значений выходной величины от среднего

$$S_2^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (y_{ij} - \bar{y}_i)^2 = \frac{1}{3-1} (2.93 - 2.29)^2 + (1.63 - 2.29)^2 + (2.31 - 2.29)^2 = 0.42$$

Сумма всех дисперсий

$$\sum_{j=1}^n S_j^2 = (0.38 + 0.42 + 0.36...) = 4.21$$

По критерию Кохрена проверялась однородность дисперсий опытов [9]

$$G_{расч} = \frac{S_{jmax}^2}{\sum_{j=1}^n S_j^2} = \frac{0.87}{4.21} = 0.21 < 0.48$$

$G_{табл} > G_{расч}$ [6-10].

Оценка дисперсии

$$S_{\{y\}}^2 = \frac{\sum_{j=1}^n S_j^2}{N} = \frac{4.21}{9} = 0.47.$$

Таблица 1

Матрица планирования и результаты эксперимента для двух факторов

Table 1

Planning matrix and experimental results for two factors

№ п/п No.	x_0	x_1	x_2	x_{12}	x_1	* x_2	$x_1(H)$	$x_2(U)$	\bar{y}_j	S_j^2	\hat{y}_j	$(\bar{y}_j - \hat{y}_j)^2$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	+	-	-	+	0,333	0,333	40	6	0,43	0,38	0,33	0,16
2	+	+	-	-	0,333	0,333	80	6	2,29	0,42	2,69	0,16
3	+	-	+	-	0,333	0,333	40	18	1,72	0,36	1,45	0,07
4	+	+	+	+	0,333	0,333	80	18	12,21	0,28	12,81	0,25
5	+	-1	0	0	0,333	-0,666	40	12	0,94	0,44	0,71	0,05
6	+	+1	0	0	0,333	-0,666	80	12	9,72	0,52	8,75	0,94
7	+	0	-1	0	-0,666	0,333	60	6	1,26	0,87	2,44	1,39
8	+	0	+1	0	-0,666	0,333	60	18	7,44	0,58	8,24	0,64
9	+	0	0	0	-0,666	-0,666	60	12	5,35	0,36	5,34	0,0001
								$\sum 41,36$	$\sum 4,21$		$\sum 3,66$	

Источник: собственные вычисления автора

Source: own calculations

Таблица 2
Результаты 4-факторного эксперимента
Table 2

Results of a 4-factor experiment

№ п/п No. p/p	Влажность древесины W,% Humidity wood W,%	Толщина заготовки H, мм Thickness blanks H, mm	Скорость подачи Sz, мм/зуб Speed filing Sz, mm/tooth	Длина реза L, м Length cut L, m	Шерохова- тость по- верхности Rm, мкм Surface roughness Rm, μm
1	2	3	4	5	6
1	15	10	0.6	12	120
2	30	10	0.6	20	130
3	30	10	1.4	12	150
4	30	20	0.6	12	180
5	15	10	1.4	20	130
6	15	10	0.6	20	130
7	15	20	1.4	12	160
8	30	20	1.4	20	180
9	30	10	0.6	12	180
10	15	10	0.6	20	130
11	15	10	1.4	12	130
12	15	20	0.6	12	160
13	30	10	1.4	20	150
14	30	10	1.4	12	130
15	15	10	1.4	20	140
16	30	15	0.6	20	130
17	7.5	15	1.0	16	120
18	37.5	15	1.0	16	220
19	22.5	15	1.0	8	200
20	22.5	15	1.0	24	230
21	22.5	15	0.2	16	120
22	22.5	15	1.8	16	180
23	22.5	5	1.0	16	160
24	22.5	25	1.0	16	210
25	22.5	15	1.4	16	150

Источник: собственные вычисления автора
Source: own calculations

Анализ количественного влияния коэффициентов уравнения регрессии указывает на то, что толщина разрезаемой заготовки оказывает почти прямо пропорциональное влияние на выходную величину (мощность резания), что и накладывает ограничение на величину скорости подачи, рассчитанной по формуле. Для увеличения скорости подачи необходимо адекватно увеличить мощность привода, но при этом возникает опасность сближения скорости подачи с критической. Поэтому и был поставлен четырехфакторный эксперимент, где дополнительно было выявлено совместное влияние изучаемых факторов, а также влажности древесины и длины резания на качественные показатели процесса резания дисками.

Результаты опытов представлены в табл. 2. Длина трещин измерялась экспериментально (рис. 3).

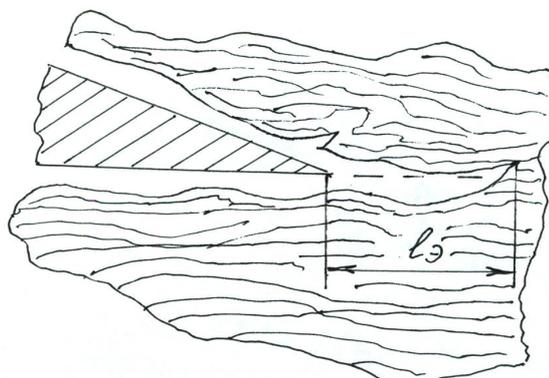


Рис. 3. Опережающее раскалывание древесины
Figure 3. Advance wood splitting

Источник: собственная композиция автора
Source: author composition

Фактические переменные рассчитывались по формулам

$$U_1 = \frac{U-1}{0.4} \quad (7)$$

$$U_2 = \frac{L-16}{4} \quad (8)$$

$$U_3 = \frac{H-15}{5} \quad (9)$$

$$U_4 = \frac{W-2.25}{7.5} \quad (10)$$

Полученное уравнение регрессии позволяет регламентировать качество разделяемых поверхностей в зависимости от влияющих факторов:

$$\begin{aligned} \bar{y} = & 150.729 + 70.3847x_1 + 49.1344x_2 + 10.693x_3 + \\ & + 51.2483x_4 + 105.8766x_1^2 + 99.3097x_2^2 + \\ & + 92.8735x_3^2 - 85.2598x_4^2 + 127.4698x_1x_2 + \\ & + 27.8138x_1x_3 - 121.9637x_1x_4 + 82.7731x_2x_3 - \\ & - 20.7184x_3x_4; \end{aligned} \quad (11)$$

Установлено, что в процессах бесстружечного разрезания дисковыми ножами усилие резания до 30 % ниже, чем при делении круглыми пилами. Влажную древесину (более 20 %) значительно легче обрабатывать дисковыми ножами, так как усилие резания уменьшается, а влага является «смазкой».

Особое влияние на процесс бесстружечного разрезания дисковым ножом оказывает структура и

анатомическое строение древесины, ее пороки и сучковатость. Возникающие трещины при делении древесины диском устраняются с уменьшением высоты заготовки древесины.

Минимальное усилие разрезания получено при резании заготовок сосны толщиной менее 10 мм и влажностью более 50 %, что хорошо согласуется с исследованиями других авторов [3-10].

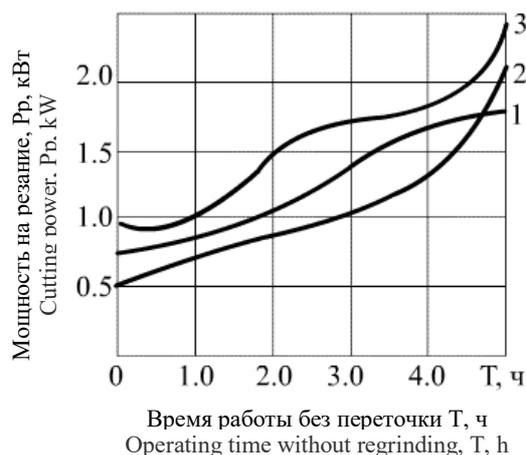


Рис. 4. Графическая зависимость потребляемой мощности при продольном делении заготовок ольхи, $H = 30$ мм за время работы без переточки: 1 – дереворежущий диск; 2 – теоретическая кривая, построенная по формуле (2.72); 3 – круглая пила по ГОСТ 9769-79

Figure 4. Graphical dependence of power consumption during longitudinal division of alder blanks, $H = 30$ mm during operation without regrinding: 1 – wood cutting disc; 2 – theoretical curve, built according to the formula (2.72); 3 – round saw according to GOST 9769-79

Источник: собственная композиция автора
Source: author's composition

Результаты экспериментальных исследований представлены графически на рис. 4 и 5, получены на промышленных станках КС-2 и ЗЕ642.

Расхождения между экспериментальными и расчётными данными не превышают 5 %. Качество разделяемых поверхностей почти прямо пропор-

ционально определяется влажностью древесины (рис. 5).

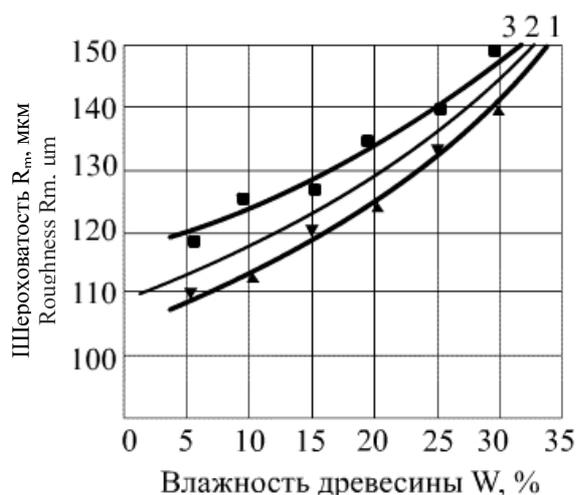


Рис. 5. Зависимость шероховатости поверхности срезов от влажности древесины сосны: 1 – толщиной менее 10 мм; 2 – теоретическая кривая; 3 – толщиной 20 мм
Figure 5. Dependence of the surface roughness of the cuts on the moisture content of pine wood: 1 – less than 10 mm thick; 2 – theoretical curve; 3 – 20 mm thick

Источник: собственная композиция автора
Source: author's composition

Таким образом, в процессах бесстружечного разрезания дисковыми ножами древесины мягких пород желательно использовать древесину меньшей влажности.

Выводы (Заключение)

Установлено, что в процессе резания древесины дисковым ножом наблюдается интенсивное трение. Качество обработанных диском поверхностей определяется влажностью и толщиной заготовки, а также выбранным режимом деления. Шероховатость разделяемых поверхностей почти прямо пропорционально увеличивается с увеличением влажности древесины. Теоретические результаты исследований незначительно (менее 5 %) отличаются от экспериментальных.

Список литературы

1. Патент № 2726557 РФ, МПК В27В 33/02. Режущий диск для мягколиственной древесины : № 2019107993 : заявл. 20.03.2019 : опубл. 14.07.2020 / Ивановский Владимир Павлович, Платонов Алексей

Дмитриевич, Волганкин Александр Михайлович, Недиков Роман Анатольевич ; патентообладатель: Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова. 2020. eLIBRARY. Бюл. № 20.

2. Lulu X., Ye X., Baokang D. (et al.) In-situ anchoring of Fe₃O₄/ZIF-67 dodecahedrons in highly compressible wood aerogel with excellent microwave absorption properties. *Materials & Design*. 2019; 182: 108006. ISSN 0264-1275. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2019.108006>.

3. Zhe Q., Zefang X., Likun G. (et al.) Transparent wood bearing a shielding effect to infrared heat and ultraviolet via incorporation of modified antimony-doped tin oxide nanoparticles. *Composites Science and Technology*. 2019; 172: 43-48. ISSN 0266-3538. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.compscitech.2019.01.005>.

4. Safin R. R., Khasanshin R. R., Timerbaeva A. L., Safina A. V. Study of the physical and energy properties of fuel granules based on a thermomodified wood raw material. *Journal of Engineering Physics and Thermophysics*. 2015; 88 (4): 958-961. DOI: 10.1007/s10891-015-1270-y.

5. Патент № 2690879 РФ, МПК В27В 33/08, В23Д 61/02; СПК В27В 33/08, В23Д 61/02. Круглая пила для древесины с эффектом самозаточки : № 2018145389 : заявл. 19.12.2018 : опубл. 06.06.2019 / Ивановский Владимир Павлович, Платонов Алексей Дмитриевич, Волганкин Александр Михайлович, Недиков Роман Анатольевич ; патентообладатель(и): Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова. 2019. eLIBRARY. Бюл. № 16.

6. Brischke C., Gobakken L. R. Protecting wood infrastructure and mass timber buildings. *Wood Material Science & Engineering*. 2020; 15: 6, 325. DOI: 10.1080/17480272.2020.1799242.

7. Rahayu I., Darmawan W., Zaini L., Prihatini Esti. Characteristics of fast-growing wood impregnated with nanoparticles. *Journal of Forestry Research*. 2019; 31: 1-9. DOI: 10.1007/s11676-019-00902-3.

8. Fomin A. A. Vibrational Motion of a Complex Mill under the Action of the Cutting Force. *Russian Engineering Research*. 2013; 33, 1: 57-60.

9. Sadrtidinov A. R., Safin R. G., Timerbaev N. F., Ziatdinova D. F., Saprykina N. A. The development of equipment for the disposal of solid organic waste and optimization of its operation. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2016; 142 (1): 012095. DOI: 0.1088/1757-899X/142/1/012095.

10. Шамаев В. А., Паринов Д. А., Полилов А. Исследование подшипников скольжения из модифицированной древесины для высоконагруженных узлов трения. *Журнал машиностроения и надежности*. 2018; 47: 168-172. DOI: 10.3103 / S1052618818020115.

11. Shamaev V., Parinov D., Medvedev I. Wood Modification by Pressing. *Engineering Studies*, 2018; 3 (2), 10: 708-718.

12. Shamaev V., Parinov D., Medvedev I. Study Of Modified Wood As A Bearing Material For Machine-Building. *International Conference on AviaMechanical Engineering and Transport (AviaENT 2018), Advances in Engineering Research*, 158: 478-482.

13. Shamaev V., Medvedev I., Parinov D., Shakirova O., Anisimov M. Investigation of modified wood as a material power transmission pole produced by self-pressing method. *Acta Facultatis Xylogologiae Zvolen*. 2018; 60, 2: 25-32. DOI: 10.17423/afx.2018.60.2.02.

14. Brient J. A., Manning M. J., Freeman M. H. Copper naphthenate – protecting America’s infrastructure for over 100 years and its potential for expanded use in Canada and Europe. *Wood Material Science & Engineering*. 2020; 15: 6, 368-376. DOI: 10.1080/17480272.2020.1837948.

References

1. Patent No. 2726557 RF, IPC B27B 33/02. Cutting disc for softwood: no.2019107993: app. 20.03.2019: publ. 07/14/2020 / Ivanovsky Vladimir Pavlovich, Platonov Alexey Dmitrievich, Volgankin Alexander Mikhailovich, Nedikov Roman Anatolyevich; Patent holder (s): Voronezh State Forestry University named after G.F. Morozov. 2020. eLIBRARY. Bul. No. 20.

2. Lulu X., Ye X., Baokang D. (et al.) In-situ anchoring of Fe₃O₄/ZIF-67 dodecahedrons in highly compressible wood aerogel with excellent microwave absorption properties. *Materials & Design*. 2019; 182: 108006. ISSN 0264-1275. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2019.108006>.
3. Zhe Q., Zefang X., Likun G. (et al.) Transparent wood bearing a shielding effect to infrared heat and ultraviolet via incorporation of modified antimony-doped tin oxide nanoparticles. *Composites Science and Technology*. 2019; 172: 43-48. ISSN 0266-3538. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.compscitech.2019.01.005>.
4. Safin R. R., Khasanshin R. R., Timerbaeva A. L., Safina A. V. Study of the physical and energy properties of fuel granules based on a thermomodified wood raw material. *Journal of Engineering Physics and Thermophysics*. 2015; 88 (4): 958-961. DOI: 10.1007/s10891-015-1270-y.
5. Patent No. 2690879 RF, IPC B27B 33/08, B23D 61/02; SPK B27B 33/08, B23D 61/02. Self-sharpening circular saw for wood: no. 2018145389: app. 12/19/2018: publ. 06.06.2019 / Ivanovsky Vladimir Pavlovich, Platonov Alexey Dmitrievich, Volgankin Alexander Mikhailovich, Nedikov Roman Anatolyevich; Patent holder (s): Voronezh State Forestry University named after G.F. Morozov. 2019. eLIBRARY. Bul. No. 16.
6. Brischke C., Gobakken L. R. Protecting wood infrastructure and mass timber buildings. *Wood Material Science & Engineering*. 2020; 15: 6, 325. DOI: 10.1080/17480272.2020.1799242.
7. Rahayu I., Darmawan W., Zaini L., Prihatini Esti. Characteristics of fast-growing wood impregnated with nanoparticles. *Journal of Forestry Research*. 2019; 31: 1-9. DOI: 10.1007/s11676-019-00902-3.
8. Fomin A. A. Vibrational Motion of a Complex Mill under the Action of the Cutting Force. *Russian Engineering Research*. 2013; 33, 1: 57-60.
9. Sadrtdinov A. R., Safin R. G., Timerbaev N. F., Ziatdinova D. F., Saprykina N. A. The development of equipment for the disposal of solid organic waste and optimization of its operation. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2016; 142 (1): 012095. DOI: 0.1088/1757-899X/142/1/012095.
10. Shamaev V. A., Parinov D. A., Polilov A. Investigation of sliding bearings made of modified wood for highly loaded friction units. *Journal of Mechanical Engineering and Reliability*. 2018; 47: 168-172. DOI: 10.3103 / S1052618818020115.
11. Shamaev V., Parinov D., Medvedev I. Wood Modification by Pressing. *Engineering Studies*, 2018; 3 (2), 10: 708-718.
12. Shamaev V., Parinov D., Medvedev I. Study Of Modified Wood As A Bearing Material For Machine-Building. *International Conference on Aviaemechanical Engineering and Transport (AviaENT 2018), Advances in Engineering Research*, 158: 478-482.
13. Shamaev V., Medvedev I., Parinov D., Shakirova O., Anisimov M. Investigation of modified wood as a material power transmission pole produced by self-pressing method. *Acta Facultatis Xylogologiae Zvolen*. 2018; 60, 2: 25-32. DOI: 10.17423/afx.2018.60.2.02.
14. Brient J. A., Manning M. J., Freeman M. H. Copper naphthenate – protecting America’s infrastructure for over 100 years and its potential for expanded use in Canada and Europe. *Wood Material Science & Engineering*. 2020; 15: 6, 368-376. DOI: 10.1080/17480272.2020.1837948.

Сведения об авторе

✉ Ивановский Владимир Павлович – кандидат технических наук, доцент кафедры древесиноведения, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова», ул. Тимирязева, 8, г. Воронеж, Российская Федерация, 394087, e-mail: nppkvalitet@mail.ru.

Information about the author

✉ *Ivanovsky Vladimir Pavlovich* – Candidate of Engineering sciences, associate professor of the Department of wood science, Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, Timiryazev str., 8, Voronezh, Russian Federation, 394087, e-mail: nppkvalitet@mail.ru.

✉ – Для контактов/Corresponding author