




РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ ПРОЦЕССА РЕЗАНИЯ ВЕТВЕЙ РОТОРОМ С ШАРНИРНО-СОЧЛЕНЕННЫМИ И ЖЕСТКО УСТАНОВЛЕННЫМИ ЛЕЗВИЯМИ

Михаил В. Драпалюк¹✉, md@vglta.vrn.ru,  <https://orcid.org/0000-0002-8029-2706>

Леонид Д. Бухтояров¹, vglta-mlx@yandex.ru,  <https://orcid.org/0000-0002-7428-0821>

Анастасия В. Прокудина¹, anastasija.pridvorova@gmail.com  <https://orcid.org/0000-0002-6297-5466>

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

Важной технологической операцией при уходах за лесными культурами является механизированное срезаение ветвей нежелательной растительности. Рабочие органы, которыми проводится срезание, отличаются по конструкции и энергетическим затратам на процесс резания. Для выбора рабочих органов, в наибольшей степени отвечающих объекту резания, необходимо разработать методику и провести экспериментальные исследования процесса резания ветвей. В настоящее время для экспериментального исследования параметров машин широко используются системы, основанные на тензометрии, однако наряду с ними все активнее внедряется цифровой интерфейс в измерительные средства, такие как осциллографы и мультиметры. При исследовании процесса резания ветвей ротором, который приводится во вращение электродвигателем, силы сопротивления резания будут создавать крутящий момент на валу, что приведёт к изменению потребляемой силы тока. Изменение силы тока можно измерить мультиметром, что позволит установить мощностные показатели процесса резания для исследуемых роторов. В работе, используя реверс-инжиниринг с помощью САПР Solidworks, разработана 3D модель роторов с жестко установленным и шарнирно-закрепленными лезвиями. Определены основные геометрические и массовые характеристики роторов. Разработан принцип подключения измерительного оборудования мультиметр UNI-T 61E; шунт 75ШИП1-5-0.5 для измерения мощности резания ветвей. Проведены экспериментальные исследования и установлены различия в мощностных показателях резания для двух типов рабочих органов.

Ключевые слова: кусторез, эксперимент, САПР, древесно-кустарниковая растительность, ротор, шарнирно-сочлененные звенья, лезвия

Благодарности: Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 20-38-90029

Авторы благодарят рецензентов за вклад в экспертную оценку статьи.

Конфликт интересов: авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.


Для цитирования: Драпалюк М. В. Результаты исследований процесса резания ветвей ротором с шарнирно-сочлененными и жестко установленными лезвиями / М. В. Драпалюк, Л. Д. Бухтояров, А. В. Прокудина // Лесотехнический журнал. – 2022. – Т. 12. – № 2 (46). – С. 80–88. – Библиогр.: с. 86–87 (15 назв.). – DOI: <https://doi.org/10.34220/issn.2222-7962/2022.2/7>.

Поступила: 19.05.2022 **Принята к публикации:** 28.06.2022 **Опубликована онлайн:** 01.07.2022

RESULTS OF THE STUDIES OF BRANCH CUTTING PROCESS USING A ROTOR WITH ARTICULATED AND RIGIDLY INSTALLED BLADES

Mikhail V. Drapalyuk¹✉, md@vglta.vrn.ru,  <https://orcid.org/0000-0002-8029-2706>

Leonid D. Bukhtoyarov¹, vglta-mlx@yandex.ru,  <https://orcid.org/0000-0002-7428-0821>

Anastasia V. Prokudina¹, anastasija.pridvorova@gmail.com  <https://orcid.org/0000-0002-6297-5466>

¹ FSBEI HE Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, 394087, 8, Timiryazeva street, Voronezh, Russian Federation

Abstract

An important technological operation in the care of forest crops is mechanized cutting of branches of unwanted vegetation. The working bodies used for cutting differ in design and energy costs for the cutting process. It is necessary to develop a methodology and conduct experimental studies of the process of cutting branches to select the working bodies to the greatest extent corresponding to the object of cutting. At present, systems based on strain gauges are widely used for the experimental study of machine parameters. However, along with them, digital interface is increasingly being introduced into measuring instruments such as oscilloscopes and multimeters. When studying the process of cutting branches with a rotor driven by an electric motor, the cutting resistance forces will create a torque on the shaft, which will lead to a change in the consumed current. The change in current strength can be measured with a multimeter, which enables to set the power indicators of the cutting process for the investigated rotors. In the work, a 3D model of rotors with rigidly mounted and hinged blades was developed using reverse engineering with the help of Solidworks CAD. The main geometric and mass characteristics of the rotors have been determined. The principle of connecting the measuring equipment (UNI-T 61E multimeter and shunt 75SHIP1-5-0.5) for measuring the cutting power of branches has been developed. Experimental studies have been carried out and differences in the power indicators of cutting for two types of working bodies have been established.

Keywords: brush cutter, experiment, CAD, tree and shrub vegetation, rotor, articulated links, blades

Acknowledgement: The authors thank the reviewers for their contribution to the peer review of this work.

Funding: the study was carried out with the financial support of the Russian Foundation for Basic Research within the framework of the scientific project No. 20-38-90029.

Conflict of interest: the authors declare no conflict of interest.

For citation: Drapalyuk M. V., Bukhtoyarov L. D., Prokudina A. V. (2022) Results of the studies of branch cutting process using a rotor with articulated and rigid blades. *Lesotekhnicheskii zhurnal* [Forest Engineering journal], Vol. 12, No. 2 (46), pp. 80-88 (in Russian). DOI: <https://doi.org/10.34220/issn.2222-7962/2022.2/7>.

Received: 19.05.2022 **Revised:** 22.06.2022 **Accepted:** 28.06.2022 **Published online:** 01.07.2022

Введение

Важной технологической операцией при уходах за лесными культурами является механизированное срезание ветвей нежелательной растительности. Как правило, рабочий орган представляет из себя ротор с жестко или шарнирно закрепленными режущими элементами. Рабочие органы, которыми проводится резание, отличаются по конструкции и энергетическим затратам на процесс

резания. Bingqiang Li создал динамическую модель системы ротор-лопатка с учетом влияния нелинейных опор. Вал моделируется как вращающаяся балка, а лопасти как балка Эйлера-Бернулли. Провел анализ нелинейной вибрации и динамической устойчивости роторно-лопастной системы [1]. Kun Yu разработал динамическую модель роторной системы, которая позволяет проводить анализ сигналов неисправности, вызванных ударными воздей-

ствиями. Установил ключевые факторы обнаружения неисправностей – импульс в полосе высоких частот и быстро меняющийся частотно-модулированный сигнал [2, 3]. Yuqi Li разработал динамическую модель, которая позволяет прогнозировать характеристики системы ротор-подшипник с болтовым соединением и исследовать влияние ротора на возникающие на нем реакции [4], предложил новый индекс для выявления неисправностей роторной системы на основе метода частотных характеристик высокого порядка к общей выходной характеристике ротора [5]. Xinxing Ma, используя Matlab и Ansys, разработал имитационную модель двухроторной системы с демпфером на подшипниках качения. Исследовал характеристики виброотклика и установил скачки амплитуды для разных скоростей вращения ротора [6]. Jafar Aghayari провел исследования по снижению вибрации ротора с лопастями для увеличения его срока службы. Используя метод конечных элементов, определил моды и диаграммы ротора и решил методом Рунге-Кутты его уравнения движения [7]. Chao Xiong разработал аналитическую модель, учитывающую распределение сил по трем осям, основанную на анализе напряжений. Определены зависимости напряжений от глубины резания. Определено влияние коэффициента теплопередачи на величину термических напряжений [8]. Ebrahim Farrokhi разработал методологию для прогнозирования времени смены лезвия ротора. На основании статистических данных установил зависимость между временем смены резца и скоростью резания. По результатам статистического анализа установил основные параметры резца, влияющие на его износ. Получил модель износа резца на основании статистических данных [9]. Yang Liu исследовал динамику роторов на лабораторном стенде, включающем двигатель, ротор, измерительное оборудование, передающее сигнал через USB порт на ноутбук с установленным ПО LabView. Разработал динамическую модель двухдисковой роторной системы. Установил влияние скорости вращения ротора и зазора в его подшипнике на вибрацию [10]. Марков А.М. установил взаимосвязь между силой резания и напряжениями при механической обработке материала [11]. Родионов В.Е. разработал установку и

получил зависимости усилия резания от перемещения ножа для процесса бесстружечного резания ножевыми рабочими органами [12].

Для исследования работы машин для резания ветвей нами были созданы имитационные модели обрезчика в Solidworks и ротора с гибкими рабочими органами в системах Unity и Matlab Simulink [13, 14, 15].

В настоящее время для экспериментального исследования параметров машин широко используются системы, основанные на тензометрии, однако наряду с ними все активнее внедряется цифровой интерфейс в измерительные средства, такие как осциллографы и мультиметры. При исследовании процесса резания ветвей ротором, который приводится во вращение электродвигателем, силы сопротивления резания будут создавать крутящий момент на валу, что приведет к изменению потребляемой силы тока. Изменение силы тока можно измерить мультиметром, что позволит установить мощностные показатели процесса резания для исследуемых роторов.

Таким образом, целью работы является разработка методики и проведение экспериментальных исследований процесса резания ветвей для выбора рабочих органов, в наибольшей степени отвечающих объекту резания.

Задачи исследования:

- проведение реверс-инжиниринга ротора с жестко и шарнирно установленным лезвием;
- разработка принципа подключения измерительного оборудования.
- проведение измерения мощности резания для двух типов рабочих органов.

Материалы и методы

Используя реверс-инжиниринг, с помощью САПР Solidworks разработаем 3D модель роторов с жестко установленным и шарнирно-закрепленными лезвиями, оба ротора вращаются относительно оси O. Для всех деталей установим материал – простая углеродистая сталь. Рабочая зона составляет 0,26 и 0,15 м для ротора с жестким и шарнирно-закрепленными лезвиями соответственно.

Ротор с жестко установленным лезвием показан на рис. 1, а его 3D модель – на рис. 2.



Рис. 1. Общий вид ротора с жестко установленным лезвием
Figure 1. General view of the rotor with a rigidly installed blade

Источник: собственное фото авторов
Source: own photo of the authors

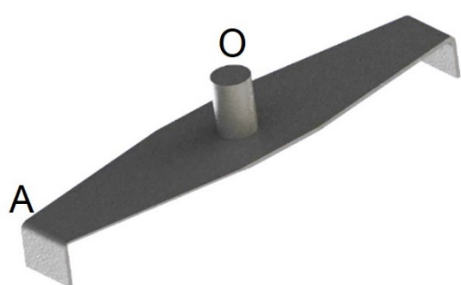


Рис. 2. Общий вид 3D модели ротора с жестко установленным лезвием
Figure 2. General view of the 3D model of the rotor with a rigidly installed blade

Источник: собственный результат авторов
Source: Authors' own result

Ротор с шарнирно установленными лезвиями показан на рис. 3, а его 3D модель – на рис. 4.



Рис. 3. Общий вид ротора с шарнирно установленными лезвиями
Figure 3. The general view of the rotor with the rotating blades

Источник: собственное фото авторов
Source: own photo of the authors

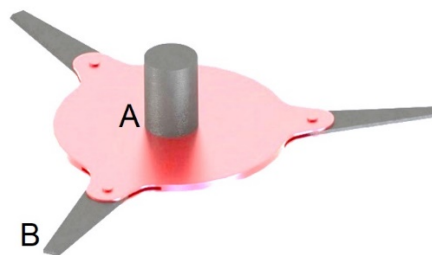


Рис. 4. Общий вид 3D модели ротора с шарнирно установленными лезвиями
Figure 4. General view of the 3D model of the rotor with with the rotating blades

Источник: собственный результат авторов
Source: Authors' own result

Основные геометрические и массовые характеристики роторов, полученные в результате реверс-инжиниринга, приведены в табл. 1.

Таблица 1

Кинематические и динамические параметры роторов с жестким и шарнирно-сочлененными ножами, полученные с помощью САПР

Table 1

Kinematic and dynamic parameters of rotors with rigid and articulated knives obtained using CAD

№	Параметр Parameter	Жесткий нож fixed blade	Шарнирно-сочлененный нож articulated blade
1	m, кг kg	0.45	0.33
2	Loa, м m	0.155	
3	Lав, м m		0.125
4	Ix, кг·мм ² kg·mm ²	[168, 6, 0]	[415,0, 0]
5	Iy, кг·мм ² kg·mm ²	[6, 4106, 0]	[0,415, 0]
6	Iz, кг·мм ² kg·mm ²	[0, 0, 4247]	[0,0, 829]

Источник: собственный результат авторов
Source: Authors' own result

Для получения мощностных показателей процесса резания ветвей роторами используем шунт и мультиметр, подключенный, как показано на рис. 5.

Питание 220 В подается на розетку 1, в качестве нагрузки выступает двигатель кустореза, подключенный вилкой 2, на шунте 3 происходит падение напряжения, которое измеряем мультиметром 4 и через USB разъём с помощью прилагаемого к мультиметру ПО записываем показания на компьютер.

Параметры используемого оборудования: электропривод кустореза с частотой вращения вала ротора 8000 об/мин, максимальной мощностью 1000 Вт; мультиметр UNI-T 61E; шунт 75ШИП1-5-0.5, (5А 75мВ).

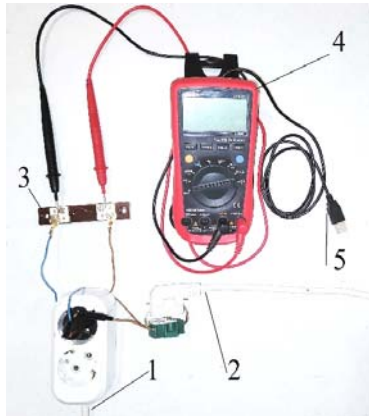


Рис. 5. Принцип подключения измерительного оборудования
Figure 5. The principle of connecting measuring equipment

Источник: собственное фото авторов
Source: own photo of the authors

Набор ветвей для резания с диаметром 1...3 см установим непосредственно в грунт (рис. 6), заглубив их на величину 10...20 см.



Рис. 6. Набор ветвей для резания
Figure 6. Set of branches for cutting

Источник: собственное фото авторов

Такой способ крепления максимально приближен к реальному произрастанию древесно-кустарниковой растительности.

Результаты и обсуждение

Общий вид проводимого эксперимента показан на рис. 7. Из фото видно, что показания с мультиметра поступают на компьютер, который их записывает. Непосредственно на фото можно видеть

момент резания ветви и напряжение на шунте 43.12 мВ.



Рис. 7. Измерение напряжение при резании ветвей

Figure 7. Measurement voltage when cutting branches

Источник: собственное фото авторов
Source: own photo of the authors

Для определения мощности на основании измерения падения напряжения на шунте используем закон Ома

$$P = U \cdot I = U_c \cdot \frac{U_n \cdot I_{ш}}{U_{ш}} = 220В \cdot \frac{43,12мВ \cdot 5А}{75мВ} = 63 \quad (1)$$

Момент резания ветвей ротором с жестко уставленным лезвием показан на рис. 8, а, а ротором с шарнирно установленными лезвиями – на рис. 8, б.



а)

б)

Рис. 8. Резание ветвей: а – жесткое лезвие, б – шарнирно-сочленённый нож

Figure 8. Cutting branches: a - rigid blade, b - articulated knife

Источник: собственное фото авторов
Source: own photo of the authors

Записанные значения напряжения для процесса резания ветвей диаметром 12...20 мм были сведены в электронную таблицу Excel. Данные бы-

ли обработаны, усреднены, каждое значение было пересчитано по формуле (1) и определена мощность резания, представленная на рис. 9, 10.

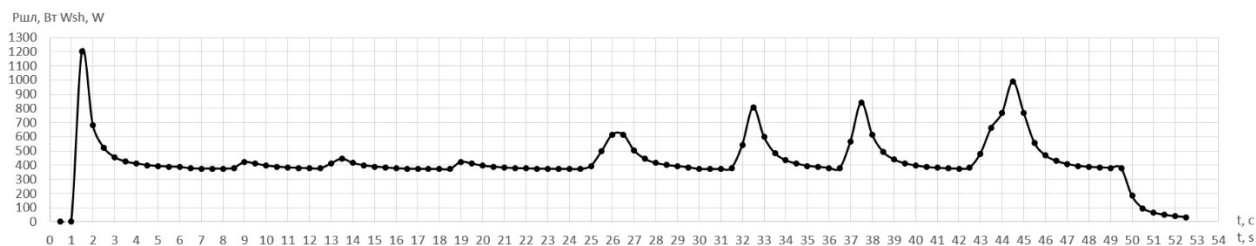


Рис. 9. Экспериментальная мощность резания ветвей диаметром 12...20 мм шарнирно-сочлененным лезвием
 Figure 9. Experimental cutting power of a branch with a diameter of 12...20 mm with an articulated blade
 Источник: собственный результат авторов
 Source: Authors' own result

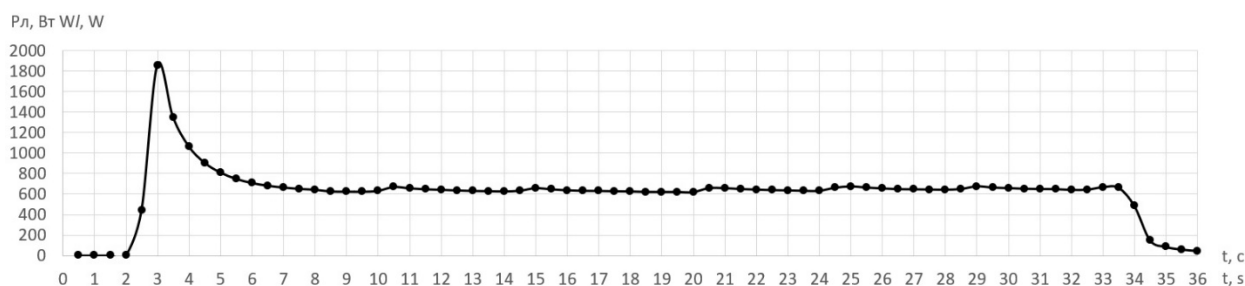


Рис. 10. Экспериментальная мощность резания ветви диаметром 12...20 мм жестко установленным лезвием на роторе
 Figure 10. Experimental power of cutting a branch with a diameter of 12...20 mm with a fixed blade on the rotor
 Источник: собственный результат авторов
 Source: Authors' own result

Из графиков следует, что при начале вращения ротора происходит кратковременный всплеск мощности до значений 1800, 1200 Вт для жесткого и шарнирно-сочлененного лезвия соответственно. Всплеск связан с преодолением инерции вращения рабочих органов и привода. Т.к. масса жесткого ножа больше, то при прочих равных значениях привода затраты энергии больше. Для поддержания частоты вращения на холостом ходу 8000 об/мин для ротора с шарнирно-сочлененным рабочим органом требуется 400 Вт, а при встрече с ветвями происходят соответствующие диаметрам срезаемых ветвей всплески на уровне 400...1200 Вт. При работе ротора с жестко установленным лезвием для поддержания его холостого хода на 8000 об/мин требуется 650 Вт, и за счет большей инерции при резании всплески меньше, чем у шарнирно-сочлененного рабочего органа – 650...700 Вт.

Выводы

1. Спроектированы с помощью САПР рабочие органы с шарнирно-сочлененными и жестко установленными на роторах лезвиями, определены их массовые (0,45, 0,33 кг) и геометрические параметры ($OA = 0,155$ м, $AB = 0,125$ м), а также моменты инерции I_x, I_y, I_z .
2. Разработан принцип подключения измерительного оборудования мультиметр UNI-T 61E; шунт 75ШИП1-5-0.5 для измерения мощности резания ветвей.
3. Проведены экспериментальные исследования и установлены различия в мощностных показателях резания для двух типов рабочих органов. Ротор с шарнирно-сочлененными лезвиями при резании ветвей 12...20 мм потребляет 400...1200 Вт, а ротор с жестко установленным лезвием – 650...700 Вт.

Список литературы

1. Li B., Ma H., Yu X., Zeng J., Guo X., Wen B. (2019). Nonlinear vibration and dynamic stability analysis of rotor-blade system with nonlinear supports. *Archive of Applied Mechanics*. doi:10.1007/s00419-019-01509-0
2. Yu K., Ma H., Han H. (et al.) (2019). Second order multi-synchrosqueezing transform for rub-impact detection of rotor systems. *Mechanism and Machine Theory*, 140, 321–349. doi:10.1016/j.mechmachtheory.2019.06.007
3. Yu K., Fu Q., Ma H., Lin T. R., Li X. (2020). Simulation data driven weakly supervised adversarial domain adaptation approach for intelligent cross-machine fault diagnosis. *Structural Health Monitoring*, 147592172098071. doi:10.1177/1475921720980718
4. Li Y., Luo Z., Wang J., Ma H., Yang D. (2021). Numerical and experimental analysis of the effect of eccentric phase difference in a rotor-bearing system with bolted-disk joint. *Nonlinear Dynamics*, 105(3), 2105–2132. doi:10.1007/s11071-021-06698-4
5. Liu Y., Zhao Y., Li J., Lu H., Ma H. (2019). Feature extraction method based on NOFRFs and its application in faulty rotor system with slight misalignment. *Nonlinear Dynamics*. doi:10.1007/s11071-019-05340-8
6. MA X., MA H., QIN H., GUO X., ZHAO C., YU M. (2021). Nonlinear vibration response characteristics of a dual-rotor-bearing system with squeeze film damper. *Chinese Journal of Aeronautics*, 34(10), 128–147. doi:10.1016/j.cja.2021.01.013
7. Aghayari J., Bab S., Safarpour P., Rahi A. (2021). A novel modal vibration reduction of a disk-blades of a turbine using nonlinear energy sinks on the disk. *Mechanism and Machine Theory*, 155, 104048. doi:10.1016/j.mechmachtheory.2020.104048
8. Xiong C., Huang Z., Shi H., Yang R., Dai X., He W. (2021). 3D Cutting Force Model of a Stinger PDC Cutter: Considering Confining Pressure and the Thermal Stress. *Rock Mechanics and Rock Engineering*, 54(9), 5001–5022. doi:10.1007/s00603-021-02494-z
9. Farrokh E. (2021). Cutter change time and cutter consumption for rock TBMs. *Tunnelling and Underground Space Technology*, 114, 104000. doi:10.1016/j.tust.2021.104000
10. Liu Y., Han J., Zhao S. (et al.) (2019). Study on the Dynamic Problems of Double-Disk Rotor System Supported by Deep Groove Ball Bearing. *Shock and Vibration*, 2019, 1–12. doi:10.1155/2019/8120569.
11. Марков А. М., Гайст С. В., Салман А. М. Методика экспериментально-аналитического определения силы резания при механической обработке. *Инновации в машиностроении : сборник трудов IX Международной научно-практической конференции, Барнаул, 24–26 октября 2018 года / под ред. А.М. Маркова, А.В. Балашова, М.В. Доц. – Барнаул : Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова, 2018. – С. 238-241*
12. Родионов В. Е., Дербин М. В., Удальцов В. Н. [и др.] Установка для исследования усилия бесстружечного резания упакованных отходов лесозаготовок криволинейными режущими кромками. *Системы. Методы. Технологии*. 2018. № 2(38). С. 100-104. DOI 10.18324/2077-5415-2018-2-100-104.
13. Имитационная модель обрезчика ветвей в САПР / И. М. Бартенев, Л. Д. Бухтояров, В. П. Попиков, А. В. Придворова // *Лесотехнический журнал*. – 2020. – Т. 10. – № 1(37). – С. 153-160. – DOI 10.34220/issn.2222-7962/2020.1/20.
14. Bukhtoyarov L. D., Maksimenkov A. I., Lysych M. N., Abramov V. V. Movement simulation of flexible working body links in the Unity cross-platform development environment. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, Voronezh, 23 октября 2020 года. Voronezh, 2020. P. 012014. DOI 10.1088/1755-1315/595/1/012014.
15. Bukhtoyarov L. D., Drapalyuk M. V., Pridvorova A. V. Simulation of the movement of hedge cutter links in the Simulink application of the Matlab package. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, Voronezh, 09–10 сентября 2021 года. Voronezh, 2021. P. 12004. DOI 10.1088/1755-1315/875/1/012004.

References

1. Li B., Ma H., Yu X., Zeng J., Guo X., Wen B. (2019). Nonlinear vibration and dynamic stability analysis of rotor-blade system with nonlinear supports. *Archive of Applied Mechanics*. doi:10.1007/s00419-019-01509-0
2. Yu K., Ma H., Han H. (et al.) (2019). Second order multi-synchrosqueezing transform for rub-impact detection of rotor systems. *Mechanism and Machine Theory*, 140, 321–349. doi:10.1016/j.mechmachtheory.2019.06.007
3. Yu K., Fu Q., Ma H., Lin T. R., Li X. (2020). Simulation data driven weakly supervised adversarial domain adaptation approach for intelligent cross-machine fault diagnosis. *Structural Health Monitoring*, 147592172098071. doi:10.1177/1475921720980718
4. Li Y., Luo Z., Wang J., Ma H., Yang D. (2021). Numerical and experimental analysis of the effect of eccentric phase difference in a rotor-bearing system with bolted-disk joint. *Nonlinear Dynamics*, 105(3), 2105–2132. doi:10.1007/s11071-021-06698-4
5. Liu Y., Zhao Y., Li J., Lu H., Ma H. (2019). Feature extraction method based on NOFRFs and its application in faulty rotor system with slight misalignment. *Nonlinear Dynamics*. doi:10.1007/s11071-019-05340-8
6. MA X., MA H., QIN H., GUO X., ZHAO, C., YU M. (2021). Nonlinear vibration response characteristics of a dual-rotor-bearing system with squeeze film damper. *Chinese Journal of Aeronautics*, 34(10), 128–147. doi:10.1016/j.cja.2021.01.013
7. Aghayari J., Bab S., Safarpour P., Rahi A. (2021). A novel modal vibration reduction of a disk-blades of a turbine using nonlinear energy sinks on the disk. *Mechanism and Machine Theory*, 155, 104048. doi:10.1016/j.mechmachtheory.2020.104048
8. Xiong C., Huang Z., Shi H., Yang R., Dai X., He W. (2021). 3D Cutting Force Model of a Stinger PDC Cutter: Considering Confining Pressure and the Thermal Stress. *Rock Mechanics and Rock Engineering*, 54(9), 5001–5022. doi:10.1007/s00603-021-02494-z
9. Farrokh E. (2021). Cutter change time and cutter consumption for rock TBMs. *Tunnelling and Underground Space Technology*, 114, 104000. doi:10.1016/j.tust.2021.104000
10. Liu Y., Han J., Zhao S. (et al.) (2019). Study on the Dynamic Problems of Double-Disk Rotor System Supported by Deep Groove Ball Bearing. *Shock and Vibration*, 2019, 1–12. doi:10.1155/2019/8120569.
11. Markov A. M., Gajst S. V., Salman A. M. (2018). Metodika e'ksperimental'no-analiticheskogo opredeleniya sily` rezaniya pri mexanicheskoy obrabotke. *Innovacii v mashinostroenii : sbornik trudov IX Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii, Barnaul, 24–26 oktyabrya 2018 goda / ed. by A.M. Markov, A.V. Balashov, M.V. Docz. – Barnaul: Altajskij gosudarstvenny`j texnicheskij universitet im. I.I. Polzunova, 2018. – S. 238-241 (in Russian).*
12. Rodionov V. E., Derbin M. V., Udal'czov V. N. [et al.] (2018) Ustanovka dlya issledovaniya usiliya besstruzhechnogo rezaniya upakovanny`x otkodov lesozagotovok krivolinejny`mi rezhushhimi kromkami. *Sistemy`. Metody`. Texnologii. – 2018. – № 2(38). – S. 100-104. – DOI 10.18324/2077-5415-2018-2-100-104. (in Russian).*
13. Bartenev, I. M. (2020) Imitacionnaya model` obrezchika vetvej v SAPR / I. M. Bartenev, L. D. Bukhtoyarov, V. P. Popikov, A. V. Pridvorova // *Lesotexnicheskij zhurnal. – 2020. – T. 10. – № 1(37). – S. 153-160. – DOI 10.34220/issn.2222-7962/2020.1/20. (in Russian).*
14. Bukhtoyarov L. D., Maksimenkov A. I., Lysych M. N., Abramov V. V. (2020) Movement simulation of flexible working body links i10n the Unity cross-platform development environment. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Voronezh, 23 oktyabrya 2020 goda. – Voronezh, 2020. – P. 012014. – DOI 10.1088/1755-1315/595/1/012014.*
15. Bukhtoyarov L. D., Drapalyuk M. V., Pridvorova A. V. (2021) Simulation of the movement of hedge cutter links in the Simulink application of the Matlab package. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Voronezh, 09–10 sentyabrya 2021 goda. – Voronezh, 2021. – P. 12004. – DOI 10.1088/1755-1315/875/1/012004.*

Сведения об авторах

✉ *Драпалюк Михаил Валентинович* – доктор технических наук, профессор, ректор ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова», ул. Тимирязева, д. 8, г. Воронеж, Российская Федерация, 394087, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-8029-2706> e-mail: md@vglta.vrn.ru

Бухтояров Леонид Дмитриевич – кандидат технических наук, доцент кафедры лесной промышленности, метрологии, стандартизации и сертификации ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова», ул. Тимирязева, д. 8, г. Воронеж, Российская Федерация, 394087, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-7428-0821> e-mail: vglta-mlx@yandex.ru

Прокудина Анастасия Викторовна – аспирант кафедры механизации лесного хозяйства и проектирования машин ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова», ул. Тимирязева, д. 8, г. Воронеж, Российская Федерация, 394087, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6297-5466>, e-mail: anastasija.pridvorova@gmail.com

Information about the authors

✉ *Drapalyuk Mikhail Valentinovich* – Doctor of Technical Sciences, Professor, Rector of the Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, Timiryazev str., 8, Voronezh, Russian Federation, 394087, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-8029-2706>, e-mail: md@vglta.vrn.ru

Bukhtoyarov Leonid Dmitrievich – Candidate of Science (Engineering), Associate Professor of the Department of Forest Industry, Metrology, Standardization and Certification, Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, Timiryazev str., 8, Voronezh, Russian Federation, 394087, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-7428-0821>, e-mail: vglta-mlx@yandex.ru

Prokudina Anastasiia Viktorovna – Postgraduate Student of the Department of Forestry Mechanization and Machine Design, Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, Timiryazev str., 8, Voronezh, Russian Federation, 394087, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6297-5466>, e-mail: anastasija.pridvorova@gmail.com

✉ Для контактов/Corresponding author