

## Сведения об авторах

*Бородин Николай Александрович* – доцент кафедры механизации лесного хозяйства и проектирования машин, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова», кандидат технических наук, доцент, г. Воронеж, Российская Федерация; e-mail: Borodinnikol@mail.ru.

*Князев Александр Владимирович* – доцент кафедры механизации лесного хозяйства и проектирования машин, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова», кандидат технических наук, доцент, г. Воронеж, Российская Федерация; e-mail: sahsa-2013@yandex.ru.

*Ткачев Виталий Викторович* – доцент кафедры механизации лесного хозяйства и проектирования машин, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова», кандидат технических наук, г. Воронеж, Российская Федерация; e-mail: tka4iov.v@yandex.ru.

*Четверикова Ирина Владимировна* – доцент кафедры механизации лесного хозяйства и проектирования машин, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова», кандидат технических наук, доцент, г. Воронеж, Российская Федерация; e-mail: chivles@rambler.ru.

## Information about authors

*Borodin Nikolai Alexandrovich* – Associate Professor Department of Forestry Mechanization and Machine Design, Federal State Budget Education Institution of Higher Education «Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov», PhD in Engineering, Associate Professor, Voronezh, Russian Federation; e-mail: Borodinnikol@yandex.ru

*Knyazev Alexander Vladimirovich* – Associate Professor Department of Forestry Mechanization and Machine Design, Federal State Budget Education Institution of Higher Education «Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov», PhD in Engineering, Associate Professor, Voronezh, Russian Federation; e-mail: sahsa-2013@yandex.ru

*Tkachev Vitaliy Viktorovich* – Associate Professor Department of Forestry Mechanization and Machine Design, Federal State Budget Education Institution of Higher Education «Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov», PhD in Engineering, Voronezh, Russian Federation; e-mail: tka4iov.v@yandex.ru

*Chetverikova Irina Vladimirovna* – Associate Professor Department of Forestry Mechanization and Machine Design, Federal State Budget Education Institution of Higher Education «Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov», PhD in Engineering, Associate Professor, Voronezh, Russian Federation; e-mail: chivles@rambler.ru.

DOI: 10.12737/19966

УДК 6313.634.93

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА СОРТИРОВАНИЯ СЕМЯН

кандидат технических наук, доцент **А. В. Князев**<sup>1</sup>

кандидат технических наук, доцент **Н. А. Бородин**<sup>1</sup>

кандидат технических наук, доцент **А. И. Максименков**<sup>1</sup>

1 – ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова», г. Воронеж, Российская Федерация

В статье представлено математическое описание процесса сортирования семян лесных культур по их размерным критериям на многоступенчатом вальцовом сепараторе. Получены регрессионные уравнения, позволяющие определить оптимальные конструктивно-технологические параметры сепаратора, при которых достигается максимальная эффективность процесса сортирования. Создание многоступенчатого вальцового сепаратора является перспективным направлением в решении вопроса сортирования и подготовки семян хвойных пород для высева их в питомнике. Он состоит из рамы, загрузочного бункера, механизма равномерной подачи в виде двух шлифованных

вальцов, ориентирующе-сортирующего приспособления, включающего в себя многоступенчатые вальцы, и ящика для сбора фракций семян. Технологический процесс разделения семян в многоступенчатом вальцовом сепараторе представляет собой движение частиц по поверхности рабочего органа и прохождение их в межвальцовое пространство. Для обеспечения эффективности процесса сортирования и повышения полноты проходовой фракции нами проведены теоретические исследования смещения приемных лотков ящика для сбора семян. Получена математическая модель для определения полноты выделения проходовой фракции семян, адекватно описывающая процесс разделения семян на многоступенчатом вальцовом сепараторе. После проведения оптимизации методом стохастических автоматов получены оптимальные конструктивно-технологические параметры многоступенчатого вальцового сепаратора: угол наклона рабочих органов составляет  $1^{\text{й}} = 9,97^{\circ}$ ,  $2^{\text{й}} = 7,28^{\circ}$ ,  $3^{\text{й}} = 4^{\circ}$ ,  $4^{\text{й}} = 4^{\circ}$ ; частота вращения рабочего органа  $\pi_1 = 976,73 \text{ мин}^{-1}$ ,  $\pi_2 = 1137,47 \text{ мин}^{-1}$ ,  $\pi_3 = 707,151 \text{ мин}^{-1}$ ,  $\pi_4 = 726,960 \text{ мин}^{-1}$ .

**Ключевые слова:** функция, процесс, математическая модель, уравнение регрессии

### MODELING OF THE PROCESS OF SCREENING OF SEEDS

PhD in Engineering, Associate Professor **A. V. Knyazev**<sup>1</sup>

PhD in Engineering, Associate Professor **N. A. Borodin**<sup>1</sup>

PhD in Engineering, Associate Professor **A. I. Maksimenkov**<sup>1</sup>

1 – Federal State Budget Education Institution of Higher Education «Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov», Voronezh, Russian Federation

### Abstract

The article presents a mathematical description of the process of screening of seeds of forest crops based on dimensional criteria in a multi-stage roller separator. The obtained regression equations allowing to determine the optimal constructive-technological parameters of the separator at which maximum efficiency of the process is screening. The creation of a multi-stage roller separator is a promising direction in addressing the issue of screening and preparation of coniferous seeds for sowing in the nursery. It consists of a frame, the hopper, the mechanism of uniform flow in the form of two polished rolls, orienteeruda-sorting devices, including multi-stage rollers and drawer for collecting fractions of seeds. The technological process of seed separation in a multi-stage roller separator is a movement of particles on the surface of the working body and passing them in magalloway space. To ensure the effectiveness of the screening process and improve the completeness of prohorovoj fraction we carried out a theoretical study of the offset receiving tray drawer to collect the seeds. The mathematical model for determining the completeness of the release of prohorovoj seed fraction, adequately describing the process of seed separation in a multi-stage roller separator. After the optimization by the method of stochastic automata obtained optimal structural and technological parameters of multi-stage roller separator: the angle of inclination of the working bodies составляет  $1^{\text{ый}} = 9,970$ ,  $2^{\text{nd}} = 7,280$ ,  $3^{\text{rd}} = 40$ ,  $4^{\text{th}} = 40$ ; frequency of rotation of the working body  $\pi_1 = 976,73 \text{ min}^{-1}$ ,  $\pi_2 = 1137,47 \text{ min}^{-1}$ ,  $\pi_3 = 707,151 \text{ min}^{-1}$ ,  $\pi_4 = 726,960 \text{ min}^{-1}$ .

**Keywords:** function, process, mathematical model, regression equation.

Одним из основных технологических процессов обработки лесосеменного материала является очистка семян от примесей и последующее их сортирование [3]. Существующие на сегодняшний день устройства для очистки и сортирования лесных семян недостаточно эффективны [5, 6]. В их работе происходит забивание рабочих органов продуктами разделения, из-за чего семена травмируются и, как следствие, снижается уровень выделения проходовой фракции [7].

Необходимо отметить, что актуальность задачи

оптимизации процесса сортирования семян, например, сосны обыкновенной, объясняется ежегодным увеличением объемов лесопосадок и значительными расходами на получение для них семенного материала [2, 4].

Исходя из теоретических и экспериментальных исследований, проведенных на многоступенчатом вальцовом сепараторе, можно сказать, что эффективное сортирование семян сосны обыкновенной на несколько фракций зависит от различного рода факторов. Схема процесса как объекта исследований представлена на рис. 1.

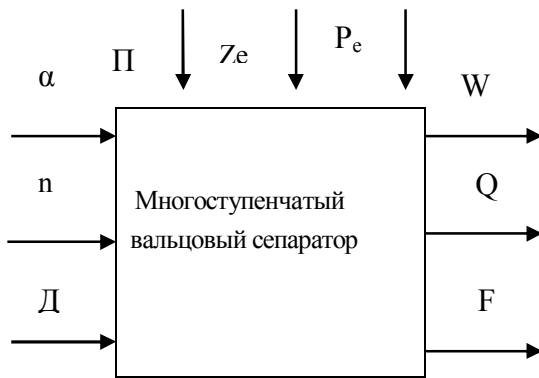


Рис. 1. Схематическое изображение объекта

Рассматривая данную схему, нетрудно заметить, что в качестве входных управляемых переменных (факторов) могут служить следующие рабочие параметры многоступенчатого вальцового сепаратора:

- частота вращения вальцов,  $n$ ;
- угол наклона вальцов относительно горизонта,  $\alpha$ ;
- чистота обработки поверхности вальцов,  $R_z$ ;
- длина ступени вальцов,  $L$ ;
- радиальное биение рабочего органа,  $g$ ;
- диаметр рабочего органа,  $D$  и т. д.

Помимо входных управляемых переменных имеют место неконтролируемые возмущающие факторы. К ним относятся:

- шероховатость поверхности семян,  $Z_\epsilon$ ;
- наличие примесей и отходов,  $\Pi_\epsilon$ ;
- изменение размеров и формы поверхности семян и т. д.

К выходным управляемым переменным, т. е. переменным состояниям процесса разделения, относятся:

- степень травмирования семян,  $H$ ;
- производительность сепаратора,  $Q$ ;
- полнота выделения проходовой фракции семян,  $W$  и др.

Исходя из того, что целью наших исследований является нахождение оптимальных параметров в процессе сортирования семян на фракции, то в качестве критерия оптимизации необходимо рассматривать полноту выделения проходовой фракции, поскольку она наиболее четко отражает процесс разделения семян [9, 10].

Поэтому, исходя из вышеизложенного, математическую модель процесса разделения семян по размерам (толщине) на многоступенчатом вальцовом се-

параторе можно представить в следующем виде:

$$W_{i,j} = f_{i,j}(n, \alpha, R_z L \dots D) \quad (1)$$

$$i = l/n; j = l/m$$

В процессе проведения экспериментальных исследований работы многоступенчатого сепаратора было установлено, что при сортировании семян сосны обыкновенной получается четыре выровненных по размерам (толщине) и массе 1000 штук фракции. Поэтому возникает необходимость в решении многокритериальной задачи, где в качестве выходного управляемого параметра выступает полнота выделения каждой фракции семян.

Для определения влияния управляемых переменных (факторов) на технологический процесс разделения семян на фракции, а также установления их области варьирования, нами проводился предварительный эксперимент. В ходе его проведения рассмотрены факторы ( $\alpha, g, R_z, L$ ), влияющие на переменные состояния процесса разделения, которые предусматривали:

- полноту выделения первой (мелкой) фракции семян за один проход  $W_1$ ,
- полноту выделения второй (средней) фракции семян за один проход  $W_2$ ,
- полноту выделения третьей (среднекрупной) фракции семян за один проход  $W_3$ ;
- полноту выделения четвертой (крупной) фракции семян за один проход  $W_4$ .

Предварительные эксперименты показали, что полнота выделения мелкой, средней, среднекрупной и крупной фракций семян достигает максимума в том случае, если частота вращения рабочего органа равна  $800 \text{ мин}^{-1}$ . Дальнейшее увеличение частоты вращения ведет к снижению полноты выделения всех четырех фракций. Поэтому целесообразно принять значение частоты вращения  $800 \text{ мин}^{-1}$  за нулевой уровень, а за верхний –  $1200 \text{ мин}^{-1}$ .

Рассмотрев и проанализировав полученные зависимости полноты выделения проходových фракций в ходе проведения эксперимента, произведем выбор математической модели в виде полиномиального уравнения второго порядка, которое можно представить в следующем виде:

$$Y = a_0 + \sum_{i=1}^n a_i x_i + \sum_{i=1}^n a_{i,j} x_i x_j + \sum_{i=1}^n a_i x_i^2 \quad (2)$$

Необходимо отметить, что для описания исследуемого процесса разделения семян на фракции применили полином второго порядка с парными взаимодей-

ствиями, так как он наиболее полно описывает данный процесс [1]. Важным условием этого является простота модели, а также количество коэффициентов регрессии, определяемое в ходе решения уравнения.

Для вычисления коэффициентов регрессионных уравнений основным методом является метод наименьших квадратов (МНК).

МНК обеспечивает такой выбор коэффициентов, что сумма квадратов отклонений исходных данных  $y_i$  от вычисленных по уравнению является наименьшей, т. е.

$$S = \sum_{i=1}^n [y_i - f(x_i, b_0, b_1, b_2 \dots)]^2 \rightarrow \min \quad (3)$$

Выбор именно такого условия объясняется соображениями удобства применения математического аппарата, а также тем, что возведение отклонений в квадрат подчеркивает роль больших отклонений. Никаких условий, кроме дифференцируемости функции  $f(x, b_0, b_1, b_2 \dots)$ , не накладывается, потому МНК можно применять практически во всех ситуациях. Большое значение имеют простота модели и качество коэффициентов, подлежащих определению. Поэтому круг выражений, из которых выбирают уравнение регрессии, должен быть ограничен по возможности простыми случаями. Существуют несколько методов для отбора переменных и обоснования наилучшего уравнения регрессии с использованием ЭВМ. В нашем случае мы применяем метод исключений.

Метод исключений на первой стадии использует наиболее полное уравнение, включающее все переменные. Рассчитываем уравнение регрессии по критерию Стьюдента при заданном уровне значимости ( $q=0.05$ ) и определенном числе степеней свободы.

Рассмотрим конкретный случай – нахождение регрессионной зависимости.

$$Y_1=f(x_1, x_2); y_2=f(x_1, x_2); y_3=f(x_1, x_2); y_4=f(x_1, x_2) \quad (4)$$

где  $y_i$  – функция отклика исследуемого объекта;

$x_1, x_2$  – входные параметры исследуемого объекта.

Для описания исследуемого объекта мы остановились на полиноме второго порядка с парным взаимодействием. Общий вид уравнения имеет вид

$$Y_i=a_0+a_1x_1+a_2x_2+a_3x_1^2+a_4x_2^2+a_5x_1x_2. \quad (5)$$

Вводим реальные ограничения на каждую переменную, исходя из знаний физического процесса:

$$\begin{aligned} 400 < x_1 < 1200, \\ 4 < x_2 < 12. \end{aligned}$$

Получение коэффициентов регрессионного уравнения осуществляют на ЭВМ, используя стандартную программу регрессионного уравнения методом наименьших квадратов. В результате было получено четыре регрессионных уравнения:

$$Y_1=58,9149+0,0249X_1+2,6264X_2-1,5517E-05X_1X_1-0,1585X_2X_2+5,4688E-04X_1X_2$$

$$Y_2=5,9576+0,0633X_1+15,8296X_2-1,9188E-05X_1X_1-0,8766X_2X_2+0,0027X_1X_2$$

$$Y_3=84,4965+0,0376X_1+0,6574X_2-2,8100E-05X_1X_1-0,1910X_2X_2+5,36228E-04X_1X_2$$

$$Y_4=85,7432+0,0251X_1+2,0699X_2-1,8240E-05X_1X_1-0,2920X_2X_2+3,54918E-04X_1X_2$$

Затем проводим оценку значимости коэффициентов  $a_j$  с использованием критерия Стьюдента при уровне значимости  $q=0.05$  и числе степеней свободы  $f=18$ . Сравниваем табличное значение критерия Стьюдента  $T=2.101$  с расчетными значениями, полученными на ЭВМ [3], и оцениваем адекватность модели по критерию Фишера [3].  $F_{таблич.}=2.77$ , а расчетное:

$$F_1=10,154, F_2=11,624, F_3=122,103, F_4=143,06$$

В методе исключений модель является адекватной, если  $F_{расч.} > F_{таблич.}$ , поэтому полученная модель является адекватной исследуемому процессу и все сочитанные коэффициенты значимы.

Коэффициенты регрессионной модели имеют четкий физический смысл. Коэффициент  $a_0$  равен значению выходной величины  $y$ , рассчитанному по уравнению регрессии, если все факторы зафиксированы на основном (нулевом) уровне. Знак коэффициентов свидетельствует о характере влияния соответствующего фактора: если  $a_i > 0$ , то с ростом значения  $x$  выходные значения  $y$  растут; если  $a_i < 0$ , то с ростом  $x_i$  отклик, т. е.  $y$ , уменьшается.

Получена математическая модель для определения полноты выделения проходовой фракции семян, адекватно описывающая процесс разделения семян на многоступенчатом вальцовом сепараторе [11, 12, 13]. После проведения оптимизации методом стохастических автоматов получены оптимальные конструктивно-технологические параметры многоступенчатого вальцового сепаратора: угол наклона рабочих органов составляет:  $1^{ii}=9,97^0$ ,  $2^{ii}=7,28^0$ ,  $3^{ii}=4^0$ ,  $4^{ii}=4^0$ ; частота вращения рабочего органа  $\pi_1=976,73 \text{ мин}^{-1}$ ,  $\pi_2=1137,47 \text{ мин}^{-1}$ ,  $\pi_3=707,151 \text{ мин}^{-1}$ ,  $\pi_4=726,960 \text{ мин}^{-1}$ .

## Библиографический список

1. Брынцев, В.А. Повышение качества семян методом сепарации [Текст] / В.А. Брынцев, И.И. Соломатов, В.А. Ругов // Лесхоз. Информ. – ВНИИЦлесресурс, 1998. – № 5-6. – С. 5-9.
2. Князев, А.В. Обоснование параметров и разработка конструкции многоступенчатого вальцового сепаратора для сортирования семян хвойных пород [Текст] : дис. ... канд. техн. наук. / А.В. Князев. – Воронеж, 2001. – 203 с.
3. Пижурин, А.А. Исследования процессов деревообработки [Текст] / А.А. Пижурин, М.С. Розенблит. – М. : Лесн. пром-сть, 1984. – 232 с.
4. Батищев, Д.И. Методы оптимального проектирования [Текст] / Д.И. Батищев. – М. : Радио и связь, 1984. – 246 с.
5. Свиридов, Л.Т. Аналитические исследования движения семян после отрыва от вальцов сепаратора [Текст] / Л.Т. Свиридов, А.Д. Голев, А.В. Князев. – Воронеж, 1999. – 19 с.
6. Свиридов, Л.Т. Повышение эффективности механизированных процессов обработки семян хвойных пород [Текст] : дис. ... докт. техн. наук. / Л.Т. Свиридов. – Москва, 1992. – 576 с.
7. Князев, А.В. Определение осевой скорости движения частиц в многоступенчатых сепараторах [Текст] / А.В. Князев, А.В. Кочегаров // Природоиспользование: ресурсы, техническое обеспечение: Межвуз. сб. научн. тр. – Воронеж, ВГЛТА, 2000. – С. 48-51.
8. Зима, И.М. Механизация лесохозяйственных работ [Текст] / И.М. Зима, Т.Т. Малюгин. – М. : Лесн. пром-сть, 1976. – 416 с.
9. Васильев, С.А. Машины для очистки и сортировки семян [Текст] / С.А. Васильев. – Машгиз, 1954. – С. 101.
10. Блехман, И.И. Вибрационное перемещение [Текст] / И.И. Блехман, Г.Ю. Джанелидзе. – М. : Наука, 1964. – 412 с.
11. Zareiforush, H. Effects of crop-machine variables on paddy grain damage during handling with an inclined screw auger [Text] / H. Zareiforush, M.H. Komarizadeh, M.R. Alizadeh // Biosystems engineering. United Kingdom, Department of Mechanical Engineering of Agricultural Machinery, Faculty of Agriculture, University of Urmia, 2010. – Vol. 106. – no. 3. – pp. 234-242.
12. Barych, E.A. A simple grain impact damage assessment device for developing countries [Text] / E.A. Barych // Journal of food engineering. United Kingdom, 2003. – Vol. 56. – no. 1. – pp. 37-42.
13. Fuzzy control of the cleaning process on a combine harvester [Text] / G. Craessaerts, J. De Bacrdemaekcr, W. Saeys, B. Missotten // Biosystems engineering. United Kingdom, Department of Biosystems, Katholieke Universiteit Leuven, Kasteelpark Arenberg, 2010. – Vol. 106. – No. 2. – Pp. 103-111.

## References

1. Bryntsev V.A., Solomatov I.I., Rutov V.A. *Povyshenie kachestva semjan metodom separacii* [Improving the quality of seeds by the method of separation]. *Leshoz. Inform* [Forestry. Inform]. 1998, no. 5-6, pp. 5-9. (In Russian).
2. Knyazev V.A. *Obosnovanie parametrov i razrabotka konstrukcii mnogostupenchatogo val'covogo separatora dlja sortirovaniya semjan hvojnyh porod*: diss. kand. tehn. nauk. [Substantiation of parameters and development of design of multi-stage roller separator for sorting of seeds of conifers Diss. PhD in Engineering]. Voronezh, 2001, 203 p. (In Russian).
3. Pizhurin A.A., Rosenblit M.S. *Issledovaniya processov derevoobrabotki* [Research of woodworking processes]. Moscow, 1984, 232 p. (In Russian).
4. Batishev D.I. *Metody optimal'nogo proektirovaniya* [Methods for optimal design]. Moscow, 1984, 246 p. (In Russian).
5. Sviridov L.T., Golev D.A., Knyazev A.V. *Analiticheskie issledovaniya dvizheniya semjan posle otryva ot val'cov separatora* [Analytical studies of seed movement after lift-off from Vals separator]. Voronezh, 1999, 19 p. (In Russian).
6. Sviridov L.T. *Povyshenie jeffektivnosti mehanizirovannyh processov obrabotki semjan hvojnyh porod*: dis. dokt. tehn. nauk. [Enhancing the effectiveness of the mechanized processing of seeds of conifers Diss.dokt. engineering

Nauk]. Moscow, 1992, 576 p. (In Russian).

7. Knyazev A.V., Kochegarov A.V. *Opređenje osevoj skorosti dvizhenija chastic v mnogostupenchatyh seperatorah* [The determination of the axial speed of particles in multistage CE-perator]. *Prirodoispol'zovanie: resursy, tehničeskoe obespečenie: Mezhvuz. sb. nauchn. Tr* [Exploitation of natural resources: resources, technical support: Intercollege. sat. researcher. Tr.]. Voronezh, 2000, pp. 48-51. (In Russian).

8. Zima I.M., Malyugin T.T. *Mehanizacija lesohozajstvennyh rabot* [Mechanization of forestry work]. Moscow, 1976, 416 p. (In Russian).

9. Vasiliev S.A. *Mashiny dlja ochistki i sortirovki semjan* [Machinery for cleaning and sorting of seeds]. Mashgiz, 1954, pp. 101. (In Russian).

10. Blekhman I.I., Dzhanelidze G.Yu. *Vibracionnoe peremeshhenie* [Vibrational movement]. Moscow, 1964, 412 p. (In Russian).

11. Zareiforouh H., Komarizadeh M.H., Alizadeh M.R. Effects of crop-machine variables on paddy grain damage during handling with an inclined screw auger. *Biosystems engineering*. United Kingdom, Department of Mechanical Engineering of Agricultural Machinery, Faculty of Agriculture, University of Urmia, 2010, Vol. 106, no. 3, pp. 234-242.

12. Barych E.A. A simple grain impact damage assessment device for developing countries. *Journal of food engineering*. United Kingdom, 2003, Vol. 56, no. 1, pp. 37-42.

13. Craessaerts G., De Bacrdemaeker J., Saeys W., Missotten B. Fuzzy control of the cleaning process on a combine harvester. *Biosystems engineering*. United Kingdom, Department of Biosystems, Katholieke Universiteit Leuven, Kasteelpark Arenberg, 2010, Vol. 106, no. 2, pp.103-111.

### Сведения об авторах

*Князев Александр Владимирович* – доцент кафедры механизации лесного хозяйства и проектирования машин, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова», кандидат технических наук, доцент, г. Воронеж, Российская Федерация; e-mail: sahsa-2013@yandex.ru

*Бородин Николай Александрович* – доцент кафедры механизации лесного хозяйства и проектирования машин, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова», кандидат технических наук, доцент, г. Воронеж, Российская Федерация; e-mail: Borodinnikol@mail.ru

*Максименков Алексей Иванович* – доцент кафедры механизации лесного хозяйства и проектирования машин, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова», кандидат технических наук, доцент, г. Воронеж, Российская Федерация; e-mail: mai-mlx@yandex.ru

### Information about authors

*Knyazev Alexander Vladimirovich* – Associate Professor Department of Forestry Mechanization and Machine Design, Federal State Budget Education Institution of Higher Education «Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov», PhD in Engineering, Associate Professor, Voronezh, Russian Federation; e-mail: sahsa-2013@yandex.ru

*Borodin Nikolai Alexandrovich* – Associate Professor Department of Forestry Mechanization and Machine Design, Federal State Budget Education Institution of Higher Education «Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov», PhD in Engineering, Associate Professor, Voronezh, Russian Federation; e-mail: Borodinnikol@yandex.ru

*Maksimenzov Aleksei Ivanovich* – Associate Professor Department of Forestry Mechanization and Machine Design, Federal State Budget Education Institution of Higher Education «Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov», PhD in Engineering, Associate Professor, Voronezh, Russian Federation; e-mail: mai-mlx@yandex.ru.