

К определению математической модели процесса сортирования лесных семян на вальцовом сепараторе

А.В. Князев^a, А.Ю. Мануковский^b, Н.А. Бородин^c, М.А. Гнусов^d

Воронежский государственный лесотехнический университет им. Г.Ф. Морозова, ул. Тимирязева, д. 8, г. Воронеж, Россия

^asasha-kn2013@mail.ru, ^bmayu1964@mail.ru, ^cborodinnikol2014@mail.ru³, ^dmgnusov@yandex.ru

^a <https://orcid.org/0000-0002-3305-7850>, ^b <https://orcid.org/0000-0003-4289-6581>, ^c <https://orcid.org/0000-0003-3561-1111>, ^d <https://orcid.org/0000-0003-1653-4595>

Статья поступила 03.02.2021, принята 20.02.2021

В последние годы лесные массивы подверглись массовым сокращениям из-за лесных пожаров, массовых рубок, вредителей и болезней древесины. Восстановление лесного фонда производится несколькими основными линиями, в т.ч. через естественное лесовосстановление и при помощи человека. Семена хвойных пород чаще всего проходят процедуру предварительной подготовки: обескряпывание, очистку от сора и сортировку. Процедура сбора семян хвойных пород достаточно трудоёмка и продолжительна по времени, в следствии чего достаточно дорогостоящая, а также факт большого количестве лесовосстановительных работ и требования к каждому семени в РФ достаточно высокие. Известны серийно выпускаемые агрегаты СУМ-1, МОС-1А и другие используемые для предпосевной подготовки семенного материала требуют усовершенствования для повышения эффективности в процессе работы. Многоступенчатый вальцовый сепаратор, как наиболее эффективный и часто применяемый для операции разделения на фракции семенного материала хвойных пород, был модернизирован новыми устройствами рабочих органов, способными выполнить технологический процесс в полном объёме. Оригинальные многоступенчатые вальцы позволили включить в теоретические исследования вальцовых сепараторов новые величины: угол наклона рабочего органа и частоту их вращения для получения полноты выделения проходовой фракции. В статье исследован вопрос изучения взаимного влияния на полноту выделения проходовой фракции частоты вращения рабочих органов (вальцов) и их угла наклона к горизонту при фиксированных значениях расстояния между вальцами. В результате экспериментальных исследований было определено, что наибольшая полнота выделения всех четырёх фракций семян соответствует углу наклона многоступенчатых вальцов, который соответствует 8° , а также при частоте вращения рабочих органов – 800 мин^{-1} . Поэтому, целесообразно принять за нижний уровень значение угла наклона вальцов равный 4° , за нулевой – 8° , верхний – 12° , а значение частоты вращения 400 мин^{-1} за нижний уровень, 800 мин^{-1} за нулевой, 1200 мин^{-1} верхний, в результате чего получено четыре регрессионных уравнения, адекватно описывающие процесс разделения семян на фракции.

Ключевые слова: усовершенствованный вальцовый сепаратор, математическое описание технологического процесса, коэффициенты регрессионной модели, проходовая фракция.

To the definition of a mathematical model of the process of sorting forest seeds on a roller separator

A.V. Knyazev^a, A.Yu. Manukovsky^b, N.A. Borodin^c, M.A. Gnusov^d

Voronezh State University of Forestry and Technologies under name of G.F. Morozov; 8, Timiryazev St., Voronezh, Russia

^asasha-kn2013@mail.ru, ^bmayu1964@mail.ru, ^cborodinnikol2014@mail.ru³, ^dmgnusov@yandex.ru

^asasha-kn2013@mail.ru, ^bmayu1964@mail.ru, ^cborodinnikol2014@mail.ru³, ^dmgnusov@yandex.ru

^a <https://orcid.org/0000-0002-3305-7850>, ^b <https://orcid.org/0000-0003-4289-6581>, ^c <https://orcid.org/0000-0003-3561-1111>, ^d <https://orcid.org/0000-0003-1653-4595>

Received 03.02.2021, accepted 20.02.2021

In recent years, forests have undergone massive reductions due to forest fires, massive felling, pests and wood diseases. The restoration of the forest fund is carried out in several main lines, namely, through natural reforestation and human assistance. Coniferous seeds most often undergo a preliminary preparation procedure: dewing, cleaning from litter and sorting. The procedure for collecting seeds of coniferous species is rather laborious and time-consuming, as a result of which it is quite expensive, as well as the fact of a large number of reforestation work and the requirements for each seed in the Russian Federation are quite high. Commercially available units SUM-1, MOS-1A and others, used for pre-sowing preparation of seed material, require improvement to gain more efficiency in the process. The multistage roller separator, as the most effective and often used for the operation of separating coniferous seed material into fractions, has been modernized with new devices of working bodies, capable of performing the technological process in full. The original multistage rollers made it possible to include new values in the theoretical studies of roller separators: the angle of inclination of the working body and the frequency of their rotation to obtain the completeness of the separation of the through fraction. The article investigates the issue of studying the mutual influence on the completeness of the separation of the through fraction of the rotation frequency of the working bodies (rollers) and their angle of inclination to the horizon at fixed values of the distance between the rollers. As a result of experimental studies, it was determined that the greatest completeness of the extraction of all four fractions of seeds corresponds to the angle of inclination of the multistage rollers, which corresponds to 80° , and also at the rotation frequency of the

working bodies - 800 min^{-1} . Therefore, it is advisable to take the value of the angle of inclination of the rollers equal to 40 for the lower level, 80 for the zero level, 120 for the upper level, and the rotational speed of 400 min^{-1} for the lower level, 800 min^{-1} for the zero level, 1200 min^{-1} for the upper level, as a result which obtained four regression equations that adequately describe the process of separating seeds into fractions.

Keywords: improved roller separator; mathematical description of the technological process; coefficients of the regression model; continuous fraction.

Введение. Основным технологическим процессом подготовки к дальнейшему использованию лесных семян таких, как сосна обыкновенная, лиственница сибирская, ель и других, является очистка и сортировка. На сегодняшний день перед лесным комплексом стоят высокие цели по лесовосстановлению, и выпускаемые агрегаты для подготовки семян (очистка и сортировка) обладают невысокой степенью эффективности для лесного комплекса. К основным недостаткам существующих машин относится забивание основных рабочих узлов агрегата, что приводит к повреждению семени (микротравмы) [1-4]. Собранный сменённый материал разделяется на фракции, которые по ходу технологического процесса проходят несколько этапов сортировки через агрегаты специального назначения. В связи с этим получение семени с высокоэффективными посевными характеристиками минимизирует потери воспроизводства качественного семенного материала для лесного комплекса страны.

Существующая проблема сортирования семян на размерные фракции хвойных пород (таких как сосна обыкновенная, лиственница сибирская и др.) неоспоримо значительна на сегодняшний день при создании и восстановлении лесного комплекса [11] не вегетативным способом, а с помощью высадки сеянцев и саженцев, подготовленных в питомниках. Стоимость работ по сбору семян - процесс дорогостоящий и применение деления на фракции собранного семенного материала способствует снижению потерь в экономическом плане.

В данной работе авторами рассмотрен процесс применения безрешетного сортирования семян хвойных пород на многоступенчатом вальцовом сепараторе.

В процессе проведения практической научно-исследовательской работы в области очистки и сортировки семенного материала для лесного комплекса основная ее часть была сосредоточена на многоступенчатом вальцовом сепараторе, и установке параметров сортирования семян сосны обыкновенной на четыре фракции, выровненные по размерам (толщине) и массе 1000 штук.

Вследствие этого появляется потребность в определении многокритериальной задачи оптимизации, где в качестве выходного управляемого параметра выступает полностью выделения каждой фракции семян.

Вальцовый сепаратор применяется для эффективно-го использования при сортировании семян сельскохозяйственных культур на размерные фракции. Конструкция многоступенчатого вальцового сепаратора позволяет устанавливать классовой промежуток проходовых фракций в пределах от 0,02 до 0,002 мм, что позволяет проводить сортирование как мелких, так и крупных семян, а также получать выровненные по размерным признакам фракции, что очень важно при использовании сеялок точного высева (особенно таких культур, как подсолнечник, кукуруза, сахарная свёкла, и т.д.). Это положительно сказывается на оптимизировании нормы высева семян и, соответственно, позволяет снизить финансовые затраты. Следует отметить, что при использовании вальцового многоступенчатого сепаратора

практически отсутствует травмирование посевного материала (семян), которые имеют довольно хрупкую оболочку, благодаря этому повышается выход кондиционных семян, применяемых при высеве. Еще одним неоспоримым преимуществом вальцового сепаратора перед решетными установками является то, что его рабочий орган может сортировать семена различной формы: зерновые, кукурузу, бахчевые, свеклу, овощные культуры и т.д. А это означает, что для получения выровненного посевного материала отсутствует необходимость иметь какие-либо дополнительные устройства для разделения семян.

Для безрешетного сортирования предложен принципиально новый по конструкции вальцовый сепаратор. Базирование конструкции многоступенчатого вальцового сепаратора происходит на основании технологического процесса движения сортируемых по толщине семян в узелке межвальцовом месте между двумя наклонными вальцами с величиной щели от малого объёма в зоне подачи семенного материала к растущему объёму в зоне их деления. Основное различие созданного вальцового сепаратора от выпускаемых на данный момент состоит в том, что в качестве основных узлов рабочих органов применяются не решета, а 2 вальца, которые работают с большей частотой вращения в обратную сторону. Двигаясь в межвальцовой плоскости, семенной материал перетекает по округлым плоскостям вальцов. Поверхность вальцов установлена наклонно, что позволяет двигающимся семенам опускаться в разных местах, исходя из величины семени, и в зависимости от их толщины проваливаться в соответствующей зоне. В следствие этого существует необходимость в проведении научных теоретических исследований. Такие исследования существенно сократят количество требуемых экспериментальных исследований по подбору оптимальных технологических и конструктивных параметров основных узлов агрегата. Полученные данные теоретического исследования позволили получить аналитические зависимости основных характеристик перемещения семенного материала по рабочим плоскостям узлов агрегата. Проведена оптимизация основных рабочих характеристик рабочего органа. На разработанном вальцовом сепараторе при модернизации конструкции в нижней части с помощью разделителя имеется возможность сортировать семенной материал на несколько фракций по толщине.

Зависимость переменных факторов на процесс разделения семян на фракции. Для определения влияния управляемых переменных (факторов) на технологический процесс разделения семян на фракции, а также установления их области варьирования, был проведен предварительный эксперимент. Экспериментальными исследованиями было установлено, что наибольшая полнота выделения всех четырех фракций семян соответствует углу наклона многоступенчатых вальцов, который соответствует 8° , а также при частоте вращения рабочих органов – 800 min^{-1} . Поэтому целесообразно принять за нижний уровень значе-

ние угла наклона многоступенчатых валцов равным 4^0 , за нулевой уровень – 8^0 , верхний уровень – 12^0 , а значение частоты вращения валцов ориентирующе-сортировального приспособления 400 мин^{-1} за нижний уровень, 800 мин^{-1} за нулевой, 1200 мин^{-1} верхний.

Чтобы качественно провести процесс разделения семенного материала на размерные фракции, гладкие валцы ориентирующе-сортирующего механизма (5) должны являться многоступенчатыми и, как валцы устройства равномерной подачи (4), в свою очередь, вращаться с большой частотой в разные стороны. Приемные лотки (6,7) необходимы для сбора фракций семян. Валцы (4) ориентирующе-сортирующего механизма и валцы (5) равномерной подачи семян сосны обыкновенной посредством плоскоремной передачи приводятся во вращение от электродвигателя (8).

Для обоснования конструктивно-технологических параметров многоступенчатого вальцового сепаратора были проведены аналитические исследования. Рассмотрен процесс движения частиц по рабочей поверхности валцов (рис. 1).

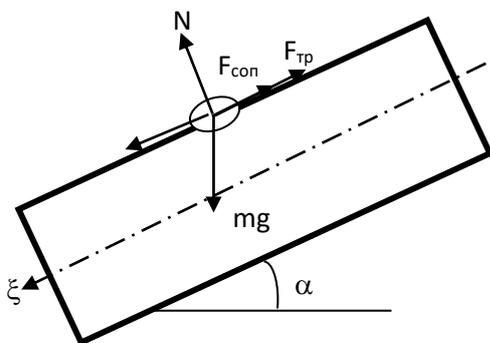


Рис 1. Схема движения частиц по рабочей поверхности рабочего органа

При движении семенного материала по поверхности рабочего органа на частицу действуют силы тяжести $G_{\text{н}} = mq$, а так же две силы трения скольжения по многоступенчатым вальцам $F_{\text{тр}}$, сила сопротивления воздуха $F_{\text{соп}}$, которая учитывается ввиду малой массы частицы (семени).

Дифференциальное уравнение движения частицы по рабочему органу будет выглядеть в виде [2]:

$$m \frac{d^2 \xi}{dt^2} = mq \sin \alpha - 2F_{\text{тр}} - F_{\text{соп}} \quad (1)$$

В свою очередь:

$$F_{\text{тр}} = \frac{mq \cos f}{Q_1 + Q_2 \left(C_1 + C_2 \frac{\pi D n_B}{60} \right)}, \quad (2)$$

где m – масса частицы (семени); q – ускорение свободного падения; f – коэффициент трения; C_1 и C_2 – эмпирические коэффициенты, которые зависят от механических свойств лесных семян и от шероховатости поверхности многоступенчатых валцов сепаратора, D – наруж-

ный диаметр валов, n_B – окружная скорость многоступенчатых валов.

Силу сопротивления воздуха в формуле распишем согласно классическим представлениям:

где C_x – безразмерный коэффициент аэродинамического сопротивления, зависящий от форм частицы и состояния ее поверхности;

S_M – площадь «миделева» сечения;

P_d – динамическое давление встречного потока воздуха, которое рассматривается по формуле:

$$P_d = \rho_v \frac{V^2}{2} = \gamma_v \frac{V^2}{2q}$$

где ρ_v – плотность воздуха (при нормальных условиях $D_{\text{во}} = \text{const} = 1,205 \text{ кг/м}^3$); γ_v – условная сила тяжести воздуха (при н.у. $\gamma_{\text{во}} = 11,820 \text{ Н/м}^3$); V – скорость движения по валцам.

$$S_M^u = \frac{\pi d^2}{4}$$

и для эллиптической частицы, сориентированной длинной осью по направлению оси ξ ,

$$S_M^a = \frac{\pi}{4} ab$$

Тогда можно записать на основании выражений:

$$F_{\text{соп}} = \frac{1}{2} C_x S_M \rho_v V^2$$

Определение математической модели и коэффициентов регрессионного уравнения.

Проведение опытных работ осуществлялось на территории Воронежского государственного лесотехнического университета им. Г.Ф. Морозова. Проанализировав полученные результаты полноты выделения проходовой фракции, нужно выработать форму математического описания и модель проводимых исследований. Необходимо произвести выбор математической модели в виде полиномиального уравнения второго порядка, которое можно представить в следующем виде:

$$Y = a_0 + \sum_{i=1}^n a_i x_i + \sum_{j=1}^n a_{ij} j x_i x_j + \sum_{i=1}^n a_{ii} x_i^2 \quad (3)$$

Стоит отметить, что для определения коэффициентов регрессионных уравнений основным методом является метод наименьших квадратов.

$$S = \sum_{i=1}^n [y_{i=f(x_1, b_0, b_1, b_2...)}]^2 \rightarrow \min \quad (4)$$

Рассмотрим конкретный случай – нахождения регрессионной зависимости

$$y_1 = f(x_1, x_2); y_2 = f(x_1, x_2); y_3 = f(x_1, x_2); y_4 = f(x_1, x_2)$$

где y_1 – функция отклика исследуемого объекта;

x_1, x_2 – входные параметры исследуемого объекта.

Общий вид уравнения имеет вид:

$$Y_1 = a_{0i+} a_i x_{1+} a_i x_{1+} a_i x_{2+} a_i x_{2+} a_{2i} x_1^2 + a_{2i} x_2^2 + a_{5i} x_1 x_2 \quad (5)$$

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

$$\begin{aligned} 400 \leq x_1 \leq 1200 \\ 4 \leq x_2 \leq 12 \end{aligned} \quad (6)$$

Коэффициенты регрессионного уравнения будем осуществлять на ЭВМ, используя стандартную программу регрессионного уравнения методом наименьших квадратов. В результате расчетов получено четыре регрессионных уравнения, которые будут записаны в следующем виде:

$$Y_1 = 58,9149 + 0,0249x_1 + 2,6264x_2 - 1,5517e - 05x_1x_1 - 0,1585x_2x_2 + 5,4688e - 04x_1x_2 \quad (7)$$

$$Y_2 = 5,9576 + 0,0633x_1 + 15,8296x_2 - 1,9188e - 05x_1x_1 - 0,8766x_2x_2 + 0,0027x_1x_2 \quad (8)$$

$$Y_3 = 84,4965 + 0,0376x_1 + 0,6574x_2 - 2,8100e - 05x_1x_1 - 0,1910x_2x_2 + 5,36288e - 04x_1x_2 \quad (9)$$

Литература

1. Князев А.В. Обоснование параметров и разработка конструкции многоступенчатого вальцового сепаратора для сортирования семян хвойных пород: дис. ... канд. техн. наук. Воронеж, 2001. 203 с.
2. Голев А.Д. Обоснование технологических и конструктивных параметров сепаратора вальцового типа для вторичной очистки и сортирования семян хвойных пород: дис. ... канд. техн. наук. Воронеж, 1997. 209 с.
3. Свиридов Л.Т., Вахнина Г.Н. Кинематика движения семян в период взлета при подбрасывании на полотне решета // Вестн. Красноярского гос. аграрного ун-та. Красноярск, 2010. Вып. 8. С. 104-109.
4. Вахнина Г.Н. Экспериментальные исследования сортирования лесных семян на решетном стане с новой конструкцией подвески // Вестн. Красноярского гос. аграрного ун-та. Красноярск, 2010. Вып. 5. С. 106-108.
5. Князев А.В., Бородин Н.А., Максименков А.И. Моделирование процесса сортирования семян // Лесотехнический журнал. 2016. Т. 6. № 2 (22). С. 123-128.
6. Князев А.В., Бородин Н.А. О перспективном направлении в сортировании семян сосны и выращивании посадочного материала // Актуальные направления научных исследований 21 века: теория и практика. 2017. Т. 5. № 1 (27). С. 323-325.
7. Rudov S.E., Grigorev I.V., Kunitskaya O.A., Ivanov V.A., Kremleva L.V., Myuller O.D., Gerts E.F., Chemshikova Yu.M., Teterevleva E.V., Knyazev A.V. and other Method of variational calculation of influence of the propulsion plants of forestry machines upon the frozen and thawing soil grounds // International Journal of Advanced Science and Technology. 2019. V. 28. № 9. P. 179-197.
8. Grigorev I., Frolov I., Kunitskaya O., Burmistrova O., Manukovsky A.Y., Hertz E., Mueller O., Kremleva L., Protasova S., Mikhaylenko E. and other Non-destructive testing of internal structure of the low-quality wood // International Journal of Civil Engineering and Technology. 2019. V. 10. № 1. P. 2104-2123.
9. Makarova Yu.A., Manukovsky A.Y., Ilunina A.A. Development of the sub grade slopes anti-flood protection method // Актуальные проблемы современной науки: материалы междунар. междисциплинарной науч.-практической конф. (01-02 июня 2018 г.). Воронеж, 2018. С. 22-25.
10. Zhuk A.Yu., Nahina A.M., Grigorev I.V., Ivanov V.A., Gasparyan G.D., Manukovsky A.Y., Kunitskaya O.A., Danilenko O.K., Grigoreva O.I. Modelling of indenter pressed into heterogeneous soil ARPN // Journal of Engineering and Applied Sciences. 2018. V. 13. № 8. P. 6419.
11. Gasparyan G., Kunickaya O., Grigorev I., Ivanov V., Zhuk A., Burmistrova O., Manukovsky A.Y., Hertz E., Kremleva L., Mueller O. Woodworking facilities: driving efficiency through automation applied to major process steps // International Journal of Engineering and Technology (UAE). 2018. V. 7. № 4.7 Special Issue 7. P. 368-375.
12. Khripchenko M.S., Novikov A.I., Goncharov A., Snyatkov E.V. Reducing the impact of transport machinery and equipment on the environment during reforestation: an innovative approach // Proceedings of the 33rd International Business Information Management Association Conference, IBIMA 2019: Education Excellence and Innovation Management through Vision 2020. 33, Education Excellence and Innovation Management through Vision 2020. 2019. P. 2438-2445.
13. Zimarin S.V., Novikov A.I., Meshcheryakova A.A., Borodin N.A. Forestry innovation in new disc cutter for soil preparation on non-uprooting site // Proceedings of the 33rd International Business Information Management Association Conference, IBIMA 2019: Education Excellence and Innovation Management through Vision 2020. 33, Education Excellence and Innovation Management through Vision 2020. 2019. P. 3120-3129.
14. Novikov A.I. Visible wave spectrometric features of scots pine seeds: the basis for designing a rapid analyzer // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. International Jubilee Scientific and Practical Conference «Innovative Directions of Development of the Forestry Complex» (FORESTRY-2018). 2019. P. 012064.
15. Быков В.С. Повышение эффективности процесса сепарирования зерновых смесей на плоских качающихся решетках: дис. ... д-ра техн. наук; 05.20.01. Воронеж, 1999. 359 с.
16. Заика П.М. Вибрационные семяочистительные машины и устройства. М.: МИИСП, 1981. 144 с.
17. Горячкин В.П. Избранные труды. Теория просеивания зерен и вороха. В 3 т. М.: Колос, 1968. Т. 1. С. 244-253.
18. Князев А.В., Бородин Н.А., Максименков А.И. Моделирование процесса сортирования семян // Лесотехнический журнал. 2016. Т. 6. № 2 (22). С. 123-128.
19. Ткачев В.В., Князев А.В. К вопросу проектирования устройств для очистки решет лесных семяочистительных машин // Актуальные направления научных исследований

XXI века: теория и практика. 2014. Т. 2. № 2-2 (7-2). С. 273-277.

20. Князев А.В., Вахнина Г.Н. Математическая модель процесса сортирования семян на многоступенчатом вальцовом сепараторе // Вестн. КрасГАУ. 2013. № 8 (83). С. 142-155.

References

1. Knyazev A.V. Substantiation of parameters and design development of a multistage roller separator for sorting coniferous seeds: dis. ... kand. tekhn. nauk. Voronezh, 2001. 203 p.
2. Golev A.D. Substantiation of technological and design parameters of a roller-type separator for secondary cleaning and sorting of coniferous seeds: dis. ... kand. tekhn. nauk. Voronezh, 1997. 209 p.
3. Sviridov L.T., Vahnina G.N. Kinematics of seed movement during the take-off period when throwing a sieve on the canvas // The Bulletin of KrasGAU. 2010. Vyp. 8. P. 104-109.
4. Vahnina G.N. Experimental studies of sorting forest seeds on a sieve mill with a new suspension design // The Bulletin of KrasGAU. 2010. Vyp. 5. P. 106-108.
5. Knyazev A.V., Borodin N.A., Maksimenkov A.I. Modeling the process of sorting seeds // Forestry Engineering Journal. 2016. V. 6. № 2 (22). P. 123-128.
6. Knyazev A.V., Borodin N.A. On a promising direction in sorting pine seeds and growing planting material // Aktual'nye napravleniya nauchnyh issledovaniy 21 veka: teoriya i praktika. 2017. V. 5. № 1 (27). P. 323-325.
7. Rudov S.E., Grigorev I.V., Kunitskaya O.A., Ivanov N.A., Kremleva L.V., Myuller O.D., Gerts E.F., Chemshikova Yu.M., Teterleva E.V., Knyazev A.V. and other. Method of variational calculation of influence of the propulsion plants of forestry machines upon the frozen and thawing soil grounds // International Journal of Advanced Science and Technology. 2019. V. 28. № 9. P. 179-197.
8. Grigorev I., Frolov I., Kunitskaya O., Burmistrova O., Manukovsky A.Y., Hertz E., Mueller O., Kremleva L., Protasova S., Mikhaylenko E. and othe. Non-destructive testing of internal structure of the low-quality wood // International Journal of Civil Engineering and Technology. 2019. V. 10. № 1. P. 2104-2123.
9. Makarova Yu.A., Manukovsky A.Y., Ilunina A.A. Development of the sub grade slopes anti-flood protection method // Aktual'nye problemy sovremennoj nauki: materialy mezhdunar. mezhdisciplinarnoj nauch.-prakticheskoy konf. (01-02 iyunya 2018 g.). Voronezh, 2018. P. 22-25.
10. Zhuk A.Yu., Hahina A.M., Grigorev I.V., Ivanov V.A., Gasparyan G.D., Manukovsky A.Y., Kunitskaya O.A., Danilenko O.K., Grigoreva O.I. Modelling of indenter pressed into heterogeneous soil ARPN // Journal of Engineering and Applied Sciences. 2018. V. 13. № 8. P. 6419.
11. Gasparyan G., Kunitskaya O., Grigorev I., Ivanov V., Zhuk A., Burmistrova O., Manukovsky A.Y., Hertz E., Kremleva L., Mueller O. Woodworking facilities: driving efficiency through automation applied to major process steps // International Journal of Engineering and Technology (UAE). 2018. V. 7. № 4.7. Special Issue 7. P. 368-375.
12. Khripchenko M.S., Novikov A.I., Goncharov A., Snyatkov E.V. Reducing the impact of transport machinery and equipment on the environment during reforestation: an innovative approach // Proceedings of the 33rd International Business Information Management Association Conference, IBIMA 2019: Education Excellence and Innovation Management through Vision 2020. 33, Education Excellence and Innovation Management through Vision 2020. 2019. P. 2438-2445.
13. Zimarin S.V., Novikov A.I., Meshcheryakova A.A., Borodin N.A. Forestry innovation in new disc cutter for soil preparation on non-uprooting site // Proceedings of the 33rd International Business Information Management Association Conference, IBIMA 2019: Education Excellence and Innovation Management through Vision 2020. 33, Education Excellence and Innovation Management through Vision 2020. 2019. P. 3120-3129.
14. Novikov A.I. Visible wave spectrometric features of scots pine seeds: the basis for designing a rapid analyzer // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. International Jubilee Scientific and Practical Conference «Innovative Directions of Development of the Forestry Complex» (FORESTRY-2018). 2019. P. 012064.
15. Bykov V.S. Improving the efficiency of the separation process of grain mixtures on flat rocking sieves: dis. ... d-ra tekhn. nauk; 05.20.01. Voronezh, 1999. 359 p.
16. Zaika P.M. Vibrating seed cleaning machines and devices. M.: MIISP, 1981. 144 p.
17. Goryachkin V.P. Selected Works. The theory of sifting grains and heaps. V 3 t. M.: Kolos, 1968. V. 1. P. 244-253.
18. Knyazev A.V., Borodin N.A., Maksimenkov A.I. Modeling the seed sorting process // Forestry Engineering Journal. 2016. V. 6. № 2 (22). P. 123-128.
19. Tkachev V.V., Knyazev A.V. On the issue of designing devices for cleaning sieves of forest seed cleaning machines // Aktual'nye napravleniya nauchnyh issledovaniy XXI veka: teoriya i praktika. 2014. V. 2. № 2-2 (7-2). P. 273-277.
20. Knyazev A.V., Vahnina G.N. Mathematical model of the process of sorting seeds on a multistage roller separator // Vestn. KrasGAU. 2013. № 8 (83). P. 142-155.