

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРЕДПОСЕВНОЙ ПОДГОТОВКИ СЕМЯН ЛЬНА ЗА СЧЕТ ПРИМЕНЕНИЯ ПРЯМОТОЧНОГО ВИБРОПНЕВМАТИЧЕСКОГО СЕПАРАТОРА**В. М. ПОЗДНЯКОВ, С. А. ЗЕЛЕНКО, А. И. ЕРМАКОВ***УО «Белорусский государственный аграрный технический университет»,
г. Минск, Республика Беларусь, 220023,**(Поступила в редакцию 02.07.2021)*

В статье приводится описание разработанного прямоточного вибропневматического сепаратора, предназначенного для предпосевной подготовки семян льна. Применение вибропневматического сепаратора на этапе окончательной доработки семян льна обеспечивает сортирование семян по биологической ценности (удельному весу) и выделение семян, обладающих улучшенными посевными качествами. На основании проведенных экспериментальных исследований впервые определены оптимальные режимно-конструктивные параметры работы прямоточного вибропневматического сепаратора, обеспечивающие максимальную технологическую эффективность процесса сортирования семян льна по удельному весу: амплитуда колебания деки 2,5 мм; частота колебания деки 19,5 Гц; скорость воздушного потока 1,2 м/с; угол наклона деки 3,3 град. Эффективность применения вибропневматического сепаратора подтверждена в производственных условиях на базе ОАО «Дворецкий льнозавод» и ОАО «Кореличи-Лен». Проведение сравнительных полевых опытов показало увеличение урожайности льностресты на 30 %, повышение общего выхода льноволокна на 8,8 %, а также увеличение выхода длинного льноволокна с 5,01 % до 9,33 % по сравнению с контрольным образцом семян без обработки на прямоточном вибропневматическом сепараторе. В процессе сортирования на вибропневматическом сепараторе семена не травмируются, т.к. обработка производится в псевдосжиженном слое, что позволяет при необходимости повторно направлять на сортирование среднюю фракцию семян льна. Технологический эффект от применения разработанного вибропневматического сепаратора на стадии окончательной очистки семян льна заключается в следующем: выделение семян с высоким потенциалом урожайности, с высокой энергией прорастания и всхожестью; выделение трудноотделимых примесей из семенных смесей, включая семена культурных растений; выделение из семенных материалов семян травмированных, пораженных насекомыми и инфицированных семян; уменьшение разнокачественности растений.

Ключевые слова: *семена, вибропневматический сепаратор, сортирование, лён.*

The article describes the developed direct-flow vibro-pneumatic separator intended for pre-sowing preparation of flax seeds. The use of a vibro-pneumatic separator at the stage of final processing of flax seeds ensures the sorting of seeds according to biological value (specific weight) and the selection of seeds with improved sowing qualities. On the basis of the conducted experimental studies, for the first time, the optimal operating and design parameters of the direct-flow vibro-pneumatic separator were determined, which ensure the maximum technological efficiency of the process of sorting flax seeds according to specific weight: the vibration amplitude of the deck is 2.5 mm; the vibration frequency of the deck is 19.5 Hz; air flow speed 1.2 m / s; deck tilt angle 3.3 degrees. The effectiveness of the use of a vibro-pneumatic separator has been confirmed in production conditions on the basis of JSC «Dvoretzky Flax Plant» and JSC «Korelichy-Len». Comparative field experiments showed an increase in the yield of flax by 30 %, an increase in the total yield of flax fiber by 8.8 %, as well as an increase in the yield of long flax fiber from 5.01 % to 9.33 % compared to a control sample of seeds without treatment on a direct-flow vibro-pneumatic separator. In the process of sorting on a vibro-pneumatic separator, the seeds are not injured, because processing is carried out in a fluidized bed, which allows you, if necessary, to re-send the middle fraction of flax seeds for sorting. The technological effect of the use of the developed vibro-pneumatic separator at the stage of final cleaning of flax seeds is as follows: the selection of seeds with a high yield potential, with high germination energy and germination; separation of intractable impurities from seed mixtures, including seeds of cultivated plants; isolation from seed materials of seeds which are injured, infected by insects and diseases; reducing the diversity of plants.

Key words: *seeds, vibro-pneumatic separator, sorting, flax.*

Введение

Наращивание в республике мощностей перерабатывающих предприятий обусловило необходимость увеличения объемов возделывания технических сельскохозяйственных растений. Согласно Государственной программе «Аграрный бизнес» в Республике Беларусь на 2021–2025 годы, производство льноволокна в 2025 году должно составить 55 тыс. тонн, при обеспечении повышения урожайности льноволокна до 11 центнеров с гектара. Выполнение прогнозных показателей возможно только при условии строго соблюдения технологии возделывания сельскохозяйственных культур и обеспечении высокого качества используемых для посева семян. Как отмечают специалисты, при строгом выполнении всех технологических процессов и применении качественных семян, рентабельность производства льна-долгунца может достигать 70 % [1, 2].

В современных условиях эффективность технологии возделывания льна-долгунца зависит от соблюдения технологии и качества используемых для посева семян. При этом биологическую ценность семян характеризует не столько геометрические параметры, сколько их удельный вес. Семена с наибольшим удельным весом обладают высокой энергией прорастания, всхожестью и, соответственно, дают максимальный урожай. Исследования и практика показывают, что фракционный состав семян по физиологическому состоянию и биологическим качествам (энергии прорастания, всхожести, силе начального роста и другим показателям) неоднороден. Поэтому при сортировании ставится задача выделить из партии не только непригодные мелкие и шуплые семена, но и другие малоценные фракции, которые имеют по тем или иным причинам низкие посевные качества и не могут быть использованы для посева. Хорошо выполненные полноценные семена, обладающие наибольшей плотностью, имея необходимый запас всех питательных веществ для развития проростка и лучше сфор-

мированный зародыш, обеспечивают образование более мощных проростков. Это ускоряет полевую всхожесть, дает возможность получить более мощные растения, сокращает выпадение их в период вегетации. В составе семян от 60 до 70 % крахмала и протеина, наиболее тяжелых составляющих, которые обеспечивают наибольшую массу семени. Чем выше содержание протеина, тем выше энергия прорастания, а расщепленный крахмал обеспечивает питание зародыша в процессе прорастания семени.

Высев некачественными семенами приводит к значительным убыткам для сельхозпроизводителей. Наряду со снижением потенциальной урожайности в почву также попадает часть семян, которые не способны к прорастанию ввиду своей низкой биологической активности.

Отечественные сорта льна-долгунца имеют высокий потенциал урожайности и при соблюдении основных агротехнологических параметров возделывания и уборки могут обеспечивать получение тресты до 60–65 центнеров с гектара. Однако проблемой является то, что на этапе подготовки семян не проводится их сортирование по удельному весу, а лишь осуществляется обработка на ситовых сепараторах и триерах (машины типа «Петкус Гигант» К 531 А) и очистка от трудноотделимых сорняков (семяочистительная машина СОМ-300).

В зарубежных ведущих льносеющих странах Европейского союза (Франция, Бельгия, Нидерланды) сортировка семян по удельному весу на пневмосортировальных столах осуществляется в обязательном порядке и без данного этапа сертификат на семена не может быть получен.

В Республике Беларусь по нашим оценкам в настоящее время только около 15 % семян сортируют по удельному весу. В результате на значительных площадях для сева используют семена, которые имеют низкий биологический потенциал, что приводит к недобору урожая на уровне 10–15 %, а также является причиной недостаточно высокого качества льноволокна.

Основная часть

Задача подготовки качественного посевного материала предполагает применение современных технологий послеуборочной обработки семян, базирующихся в первую очередь на оборудовании, позволяющем проводить сортировку и калибровку семян по удельному весу [3–8]. Удельный вес можно рассматривать как комплексную характеристику, суммарно отражающую такие показатели физико-химических свойств семян, как структура, химический состав, масса 1000 семян и натура [9].

Для проведения экспериментальных исследований процесса сортирования семян льна по удельному весу изготовлен экспериментальный стенд, основным элементом которого является разработанный вибропневматический сепаратор с принципиально новыми техническими решениями, обеспечивающий эффективное сортирование семян на фракции, отличающиеся между собой плотностью в пределах 10–15 % [10, 11]. Схема экспериментального стенда представлена на рис. 1.

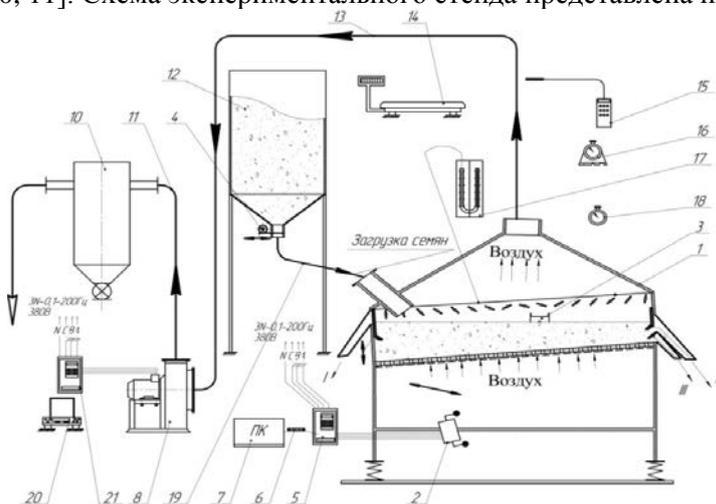


Рис. 1. Схема экспериментального стенда:

- I* – легкая фракция (легковесные и низконатурные семена); *II* – средняя фракция (основная партия семян);
- III* – плотная фракция (семена с высоким потенциалом урожайности); *1* – лабораторный вибропневматический сепаратор; *2* – электровибратор ИВ-99Б; *3* – датчик уровня семян; *4* – механизм регулировки подачи исходного продукта; *5* – частотный преобразователь PROSTAR PR 6100; *6* – преобразователь интерфейса AC4; *7* – персональный переносной компьютер ASUS X550C; *8* – вентилятор ВР 120-28; *9* – нагнетающий воздуховод; *10* – осадочная камера; *11* – воздуховод; *12* – бункер; *13* – всасывающий воздуховод; *14* – весы; *15* – анемометр ТКА-ПКМ50; *16* – угломер маятниковый ЗУРИ-М; *17* – U образный манометр; *18* – секундомер; *19* – патрубок для подачи массы семян; *20* – анализатор влажности; *21* – частотный преобразователь ВЕСПЕР Е2-8300-007Н

Проведенными исследованиями [11–13] установлено, что технологическая эффективность процесса сортирования исходной массы семян по удельному весу определяется такими показателями, как масса 1000 семян и производительность вибропневматического сепаратора.

Показатель массы 1000 семян определяется отношением:

$$m_{1000с.} = \frac{m_c \cdot 1000}{N}, \quad (1)$$

где m_c – масса целых семян в пробе, г; N – количество целых семян в пробе массой m_c , шт.

Производительность вибропневматического сепаратора определялась путём замера массы семян, поступающей на сортирование из загрузочного бункера, за фиксированный интервал времени по формуле:

$$Q = \frac{m}{t}, \quad (2)$$

где m – масса семян, поступившая из загрузочного бункера на сортирование, кг; t – время работы вибропневмосепаратора, с.

Масса 1000 семян определялась по методике, описанной в ГОСТе 12042-80 «Семена сельскохозяйственных культур. Методы определения массы 1000 семян».

Для определения наиболее значимых факторов, влияющих на технологическую эффективность процесса сортирования семян льна по удельному весу, была проведена серия отсеивающих экспериментов, что позволило определить основные факторы, влияющие на процесс сортирования. Анализ серии отсеивающих экспериментов показал, что факторами, определяющими технологическую эффективность сортирования семян льна по удельному весу на вибропневматическом сепараторе, являются: амплитуда колебания сетчатой деки, частота колебания сетчатой деки, скорость воздушного потока в рабочей камере сепаратора и угол наклона деки к горизонту.

Для определения интервалов варьирования входных факторов была проведена серия однофакторных экспериментов. В результате обработки экспериментальных данных построены графические зависимости, представленные на рис. 2.

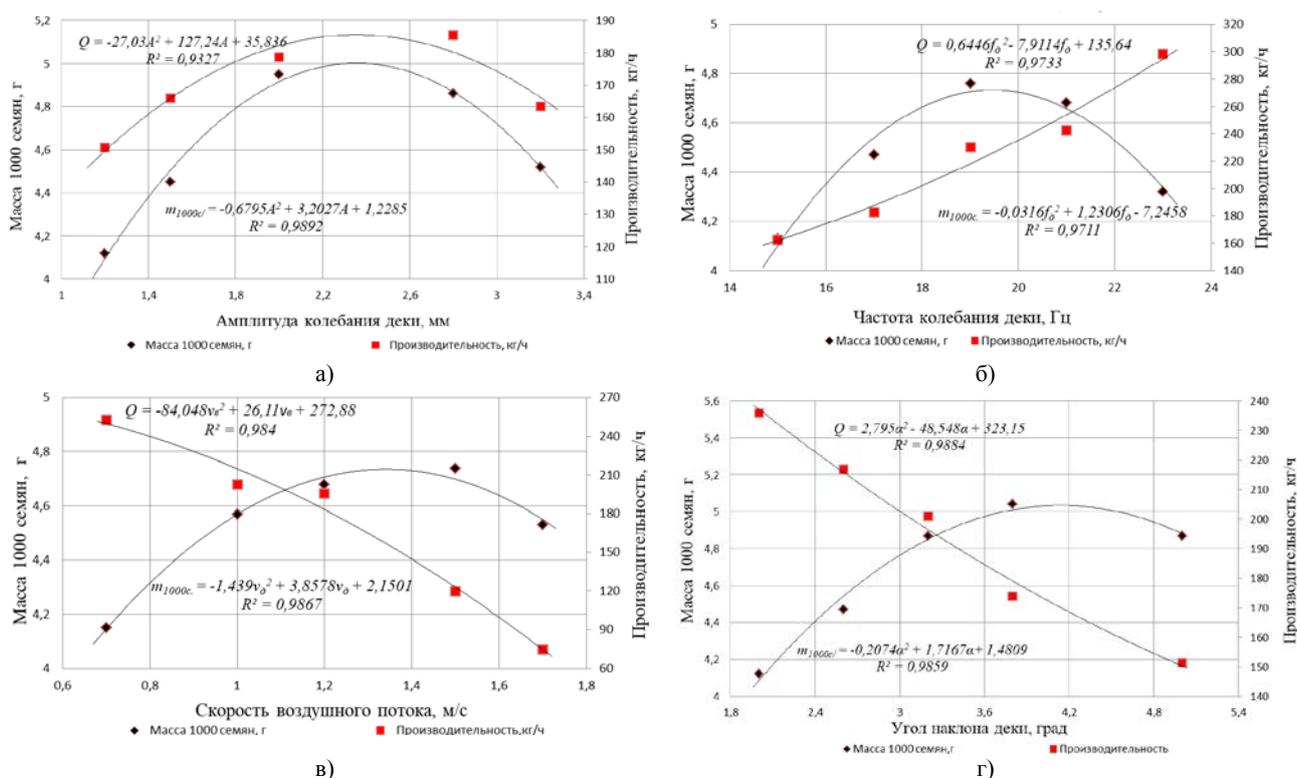


Рис. 2. Графические зависимости влияния входных параметров на технологическую эффективность: а – зависимость $m_{1000с.}$ и Q от A ; б – зависимость $m_{1000с.}$ и Q от f_0 ; в – зависимость $m_{1000с.}$ и Q от v_0 ; г – зависимость $m_{1000с.}$ и Q от α

Анализ полученных графических зависимостей, представленных на рис. 2, позволил определить интервалы варьирования входных факторов для проведения полнофакторного эксперимента: ампли-

туда колебания деки, $A = 1,5-3$ мм; частота колебания деки, $f_0 = 17-22$ Гц; скорость воздушного потока, $v_0 = 0,9-1,5$ м/с; угол наклона сетчатой деки, $\alpha = 2-5^\circ$.

Для определения оптимальных параметров работы разработанного сепаратора при сортировании семян льна по удельному весу был проведён полнофакторный эксперимент по плану Бокса-Уилсона типа 2^4 со звездными точками $\alpha = \pm 2$ и двукратным повторением центральной точки. В результате планирования было проведено 26 опытов, которые проводились с тройной повторностью.

На основании детального анализа экспериментальных данных, с помощью пакета статистических инструментов программ STATISTICA и STATGRAPHICS Centurion получены уравнения регрессии (3, 4), позволяющие определять производительность и значение показателя массы 1000 семян разработанного вибропневматического сепаратора при изменении режимно-конструктивных параметров работы в диапазоне варьирования факторов:

– для показателя массы 1000 семян:

$$m_{1000c} = -3,265 + 0,476 \cdot \alpha + 0,788 \cdot A + 0,556 \cdot f_0 + 1,525 \cdot v_0 - 0,032 \cdot \alpha^2 - 0,0071 \cdot \alpha \cdot f_0 - 0,074 \cdot \alpha \cdot v_0 - 0,157 \cdot A^2 - 0,014 \cdot f_0^2 - 0,494 \cdot v_0^2 \quad (3)$$

– для производительности:

$$Q = -2002,9 + 111,927 \cdot \alpha + 318,076 \cdot A + 146,931 \cdot f_0 + 459,744 \cdot v_0 - 6,937 \cdot \alpha^2 + 8,078 \cdot \alpha \cdot A - 3,77 \cdot \alpha \cdot f_0 - 25,139 \cdot \alpha \cdot v_0 - 48,682 \cdot A^2 - 5,593 \cdot A \cdot f_0 - 1,965 \cdot f_0^2 - 22,15 \cdot f_0 \cdot v_0 - 67,176 \cdot v_0^2 \quad (4)$$

С помощью регрессионных моделей (3), (4) можно сделать прогноз о выходных параметрах прямоточного вибропневматического сепаратора в интервале варьирования факторов. Анализ адекватности полученных регрессионных моделей оценивали по критерию Фишера (F). Полученные уравнения адекватны экспериментальным данным, т.к. $F_{m_{1000c}} = 0,07 < F_{табл} = 1,84$ и $F_Q = 0,23 < F_{табл} = 1,92$.

Определение оптимальных параметров работы вибропневматического сепаратора при обработке семян льна, обеспечивающих максимальную технологическую эффективность, осуществлялось графическим методом на основе наложения линий равного уровня. Схема графической оптимизации представлена на рис. 3.

Оптимальные параметры работы вибропневматического сепаратора, на основании графического метода проведения оптимизации, обеспечивающие максимальный показатель массы 1000 семян и наибольшую производительность процесса сортирования семян льна по удельному весу, представлены в таблице.

Данные оптимальные параметры апробированы на лабораторном вибропневматическом сепараторе по производительности. В результате работы сепаратора получены показатель массы 1000 семян $m_{1000c} = 4,64$ и производительность $Q = 322$ кг/ч или удельная производительность $Q_{уд} = 17,9$ кг/ч·см.

Оптимальные параметры сортирования семян льна по удельному весу

Параметры	Амплитуда колебания деки, мм	Частота колебания деки, Гц	Скорость воздушного потока, м/с	Угол наклона деки, град.
Значение входных факторов	2,5	19,5	1,2	3,3

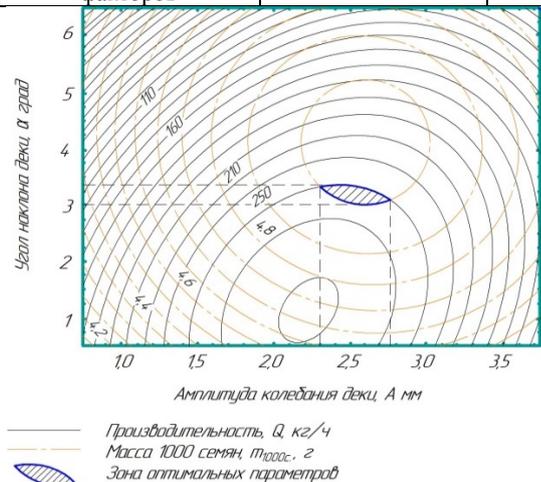


Рис. 3. Схема графической оптимизации процесса сортирования семян по удельному весу

На базе участка «Лида» ОАО «Кореличи-Лен» проведена производственная апробация способа предпосевной подготовки семян льна с использованием прямоточного вибропневматического сепаратора. По результатам полевых опытов (сорт «Левит-1») получены следующие результаты: увеличение урожайности льна с 30 ц/га до 39 ц/га, повышение общего выхода льноволокна с 23,51 % до 25,58 %, увеличение выхода длинного льноволокна с 5,01 % до 9,33 % по сравнению с контрольным образцом семян без обработки на прямоточном вибропневматическом сепараторе. Расчетный экономический эффект от внедрения разработки составил 696,1 (шестьсот девяносто шесть руб. десять коп.) на 1 га посевной площади льна. Таким образом, окупаемость внедрения в линию подго-



Рис. 4. Общий вид прямоточного вибропневматического сепаратора

товки семян разработанного вибропневматического сепаратора составляет около года.

Производственная апробация с применением разработанного вибропневматического сепаратора на этапе предпосевной подготовки семян льна (сорт «Сюзанна») проводилась также в условиях ОАО «Дворецкий льнозавод». На рис. 4 представлен общий вид промышленного прямоточного вибропневматического сепаратора, изготовленного в рамках НИР ХД от 21.01.2019 г. «Разработка и изготовление прямоточного вибропневматического сепаратора для предпосевной подготовки семян в условиях ОАО «Дворецкий льнозавод».

По состоянию на 01.04.2021 г. фактическая наработка прямоточного вибропневматического сепаратора ПВС-500 составила 303 т. (2020 г. – 40 т., 2021–263 т), что подтверждается актом о фактической наработке №1 от 01.04.2021 г.

В процессе сортирования на вибропневматическом сепараторе семена не травмируются, т.к. обработка производится в псевдооживленном слое, что позволяет при необходимости повторно направлять на сортирование среднюю фракцию семян льна.

Технологический эффект от применения разработанного вибропневматического сепаратора на стадии окончательной очистки семян льна заключается в следующем: выделение семян с высоким потенциалом урожайности, с высокой энергией прорастания и всхожестью; выделение трудноотделимых примесей из семенных смесей, включая семена культурных растений; выделение из семенных материалов семян травмированных, пораженных насекомыми и инфицированных семян; уменьшение разнокачественности растений.

По сравнению с существующими машинами для сортирования зерна и семян по удельному весу (пневмосортировальными столами), разработанный прямоточный вибропневматический сепаратор обладает рядом преимуществ: простота конструкции и настройки за счёт использования деки с продольным углом наклона; возможность настройки оптимальных режимно-конструктивных параметров работы под различные культуры; низкая стоимость по сравнению с аналогами и простота обслуживания.

Заключение

На основании проведённых теоретических и экспериментальных исследований разработан инновационный прямоточный вибропневматический сепаратор, который позволяет значительно повысить качество семян льна за счёт их сортирования по удельному весу в псевдооживленном слое.

Впервые для семян льна определены оптимальные параметры работы разработанного вибропневматического сепаратора, обеспечивающие максимальную технологическую эффективность процесса сортирования семян по удельному весу: амплитуда колебания деки 2,5 мм; частота колебания деки 19,5 Гц; скорость воздушного потока 1,2 м/с; угол наклона деки 3,3 град.

Проведённые производственные испытания доказали высокую эффективность сортирования семян льна на разработанном вибропневматическом сепараторе. Разработанный вибропневматический сепаратор может применяться как отдельное оборудование для окончательной доработки семян, так и в составе поточной семяочистительной линии. В процессе обработки семена не травмируются так как отсутствует механическое воздействие, что также положительно влияет на энергию прорастания и всхожесть.

ЛИТЕРАТУРА.

1. Шаршунов, В. А. Состояние льноводческой отрасли Республики Беларусь и пути повышения ее эффективности / В. А. Шаршунов, А. С. Алексеев, М. В. Цайц // Вестник БГСХА. – 2019. – №2. – С. 267–271.
2. Левчук, В. А. Результаты экспериментальных исследований обмолачивающего устройства с эластичным рабочим органом в линии первичной переработки льна / В. А. Левчук, М. В. Цайц // Вестник БГСХА. – 2021. – №1. – С. 149–155.

3. Галкин, В. Д. Сепарация семян в вибропневмооживленном слое: технология, техника, использование / В. Д. Галкин, В. А. Хандриков, А. А. Хавыев. – Пермь, 2017 – 170 с.
4. Поздняков, В. М. Перспективы развития специализированного зерноочистительного оборудования / В. М. Поздняков, А. В. Иванов, А. И. Ермаков // Вестник МГУП. – 2009. – № 2(7). – С. 85 – 90.
5. Иванов, А. В. Математическое описание процесса самосортирования компонентов зерновой смеси по плотности в вибропневмосепараторе / А. В. Иванов, А. И. Ермаков, В. М. Поздняков, В. Ю. Тыщенко, А. А. Шинкарев // Пищевая промышленность: наука и технологии. – 2011. – № 1(11). – С. 81 – 89.
6. Иванов, А. В. Исследование процесса расслоения компонентов зерновой смеси по плотности в вибропневмосепараторе для очистки семян от вредных трудноотделимых примесей / А. В. Иванов, А. И. Ермаков, В. М. Поздняков, А. А. Шинкарев // Вестник МГУП. – 2011. – № 2(11). – С. 84 – 91.
7. Иванов, А. В. Повышение эффективности процесса очистки семян от вредных трудноотделимых примесей за счет создания вибропневмосепаратора с оптимальными конструктивными параметрами / А. В. Иванов, А. И. Ермаков, В. М. Поздняков // Вестник МГУП. – 2011. – № 2(11). – С. 105 – 110.
8. Ермаков, А. И. Инженерный расчет вибропневматических машин для очистки семян от трудноотделимых примесей / А. И. Ермаков, А. В. Иванов, В. М. Поздняков, А. А. Шинкарев // Пищевая промышленность: наука и технологии. – 2012. – № 1(15). – С. 44 – 52.
9. Поздняков, В. М. Сортирование семян по биологической ценности – основа будущего урожая / В. М. Поздняков, С. А. Зеленко // Наукові здобутки молоді – вирішенню проблем харчування людства у ХХІ столітті: 79-і наук. конф. молодих учених, аспірантів і студентів. НУХТ, – Київ, 2013. – Ч. II. – С. 10–12.
10. Поздняков, В. М. Повышение эффективности подготовки семенного материала на основе совершенствования конструкции сепаратора вибропневматического принципа действия / Поздняков В. М., Зеленко С. А, Ермаков А. И. // Вестник БГСХА – 2014. – № 1. – С. 163–167.
11. Поздняков, В. М. Применение вибропневматического оборудования для предпосевной подготовки семян технических культур / В. М. Поздняков, С. А. Зеленко // Техническое обеспечение инновационных технологий в сельском хозяйстве : междунар. науч.-практ. конф., Минск, 26–27 ноября 2020 г. Белорус. гос. аграр. техн. ун-т ; редкол.: Н. Г. Серебрякова [и др.]. – Минск, 2020. – 323–326.
12. Шило, И. Н. Исследование производительности вибропневматического оборудования / И. Н. Шило, В. М. Поздняков, С. А. Зеленко // Наукові праці Національного університету харчових технологій. – 2020. – Т. 26, № 6. – С. 163–172.
13. Pozdniakov, V. M. Improving the quality of seeds through the use of vibropneumatic separation / V. M. Pozdniakov, S. A. Zelenko // Actual theoretic – practical problems and their solutions in the agricultural science : proceedings of the international conference dedicated to the 90th anniversary of the establishment of Tashkent state agrarian university, Tashkent, 14–15 December, 2020 y. – Tashkent, Uzbekistan, 2020. – P. 716–720.