

Современные принципы и технические средства сепарации семян

Белецкий Сергей Леонидович

кандидат технических наук, доцент

ФГБУ Научно-исследовательский институт проблем хранения Росрезерва

Адрес: 111033, город Москва, Волочаевская ул., д. 40, корп. 1

E-mail: grain-miller@yandex.ru

Прияткин Николай Сергеевич

кандидат технических наук, старший научный сотрудник

ФГБНУ Агрофизический научно-исследовательский институт

Адрес: 195220, город Санкт-Петербург, Гражданский пр., 14.

E-mail: prini@mail.ru

Архипов Михаил Вадимович

доктор биологических наук, профессор

ФГБНУ Агрофизический научно-исследовательский институт

Адрес: 195220, город Санкт-Петербург, Гражданский пр., 14

ФГБНУ Северо-Западный центр междисциплинарных исследований проблем продовольственного обеспечения

Адрес: 196608, город Санкт-Петербург, город Пушкин, Подбельского ш, 7

E-mail: szcentr@bk.ru

Гусакова Людмила Петровна

кандидат биологических наук

ФГБНУ Агрофизический научно-исследовательский институт

Адрес: 195220, город Санкт-Петербург, Гражданский пр., 14

E-mail: l-gusakova@mail.ru

Представлен краткий аналитический обзор существующих методов и технических средств сепарации семян для обоснования выбора наиболее оптимальных способов её осуществления и оценки её эффективности. Приведены сведения о современных принципах сепарации семян: механическом, пневматическом, электрическом, оптическом и рентгеновском, а также сведения о серийных образцах (модель, производитель) сортировщиков семян, представленных на российском и зарубежных рынках. Приведены ссылки на литературные источники, содержащие экспериментальные данные о посевных характеристиках сепарированных фракций семян. Для минимизации попадания кондиционных семян в отходы предлагается, на основании анализа публикаций отечественных и зарубежных исследователей, использовать принцип предварительного фракционирования, т.е. выравнивания по своим характеристикам семенного материала. Обсуждается роль метода микрофокусной рентгенографии как основы промышленной рентгеновской сепарации семян и как самостоятельного метода, позволяющего оценивать качество фракций семян, сепарированных другими (электрическими) методами. На основании аналитического обзора обосновывается необходимость учёта нескольких факторов при выборе метода и технического средства сепарации: целевое назначение сепарируемой партии, вид сельскохозяйственной культуры, исходные качественные характеристики сепарируемых партий семян, производительность оборудования и стоимость работ по сепарации. Для оценки эффективности сепарации предлагается использовать комплекс стандартных и дополнительных методов оценки посевных качеств семян, с целью более эффективного решения задачи по отбору хозяйственно наиболее пригодных партий агросырья.

Ключевые слова: сепарация семян, технические средства сепарации, оценка эффективности сепарации, микрофокусная рентгенография

Известно, что семена одной партии неоднородны по своим характеристикам, зависящей от биологических особенностей растения, почвенно-климатических факторов и агротехнических условий возделывания культуры (Макрушин, Макрушина, Шабанов, Есоян, Черемха, 2012). Используемые в настоящее время технологии выращивания, уборки, сушки, послеуборочной подработки, хранения и предпосевной подготовки семян к посеву не обеспечивают установленных стандартом свойств, поэтому до 40% семян в полевых условиях могут не всходить, а всхожие семена могут дать невыравненные неполноценные всходы (Тарушкин, 1991).

Отечественные и зарубежные производители оборудования для сепарации семян предлагают сельхозтоваропроизводителям и предприятиям зернопереработки различные сортировщики семян, построенные на нескольких физических принципах. В связи с этим возникает необходимость в правильном подборе оптимального для поставленной задачи сепарирующего устройства, либо набора устройств, совершенствовании действующих сепараторов, а также объективную оценку их эффективности – посевных характеристик полученных в результате сепарации фракций семян.

Цель работы: краткий аналитический обзор существующих методов и технических средств сепарации семян для обоснования выбора наиболее оптимальных способов ее осуществления и оценки ее эффективности.

Материалы и методы

По принципу действия сепараторы можно разделить на следующие типы: механические, пневматические, электрические, оптические и рентгеновские.

Механические сепараторы (зерноочистительные машины), построенные на принципе круговых (БСХ, БИС, БЛС, Petkus) либо плоскопараллельных (СВУ-60, Schmidt-Seeger) колебаний кузовов, позволяют отделять крупную и мелкую сорные примеси. Зерноочистительные машины барабанного типа, например КБС и «Луч», позволяют сепарировать семена зерновых культур повышенной влажности. Улучшенной системой аспирации обладают механические сепараторы, построенные на центробежном принципе, например, RIELA (Ямпиров, 2004).

Пневматические (воздушные, аэросепараторы)

сортировщики семян, например, САД, осуществляют сепарацию по удельному весу. Принципиальная структурная схема пневматического сепаратора (Куценко, 2014) представлена на Рисунке 1.

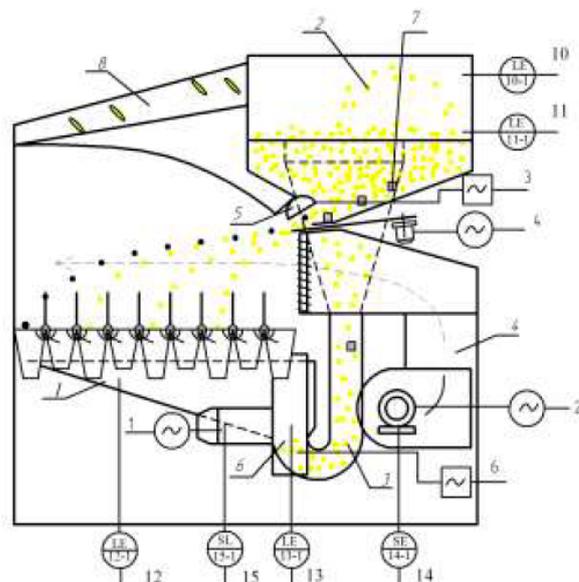


Рисунок 1. Принципиальная структурная схема пневматического сепаратора (Куценко, 2014).

1 – приемный бункер; 2 – накопительный бункер; 3 – желоб пневмотранспорта; 4 – желоб вентилятора сепаратора; 5 – задвижка подачи зерна для сепарации; 6 – задвижка подачи зерна для пневмотранспорта; 7 – магнитные ловушки; 8 – желоб для удаления пыли и шелухи

Сепарация в аэродинамическом потоке позволяет разделять семенной материал на фракции по удельному весу. Данный способ сепарации обеспечивает однородность семян при сепарации $\pm 3\%$, что дает возможность выделять фракции с повышенным содержанием клейковины и белка (Куценко, 2014).

Разработка сепараторов, работающих на электрических (диэлектрический, электростатический) принципах, проводилась как в России (Ямпиров, 2004; Басов, Изаков, Шмигель и др., 1968; Стерхова, 2005), так и за рубежом (Harmond, Brandenburg, Booster, 1961; Abdel-Salam, Ahmed, Kishki, 2004). Принципиальная схема диэлектрического сепаратора (Земсков, Тарушкин, Казимирчук, Хайретдинов, 1991) представлена на Рисунке 2.

Результаты и их обсуждение

Были созданы электрозерноочистительные

машины, в которых используют принцип сепарации в электрическом поле коронного разряда и электростатическом поле. Выполненный цикл работ под научным руководством Тарушкина В.И. (1991) показал принципиальную возможность и эффективность использования диэлектрического метода при очистке, сортировании и калибровке семян сельскохозяйственных культур. Был разработан технологический комплекс диэлектрических сепарирующих устройств (ДСУ), которые прошли успешные испытания, как в производстве, так и в научно-исследовательских институтах ВИМ, ВИР, ВИЗР и др.

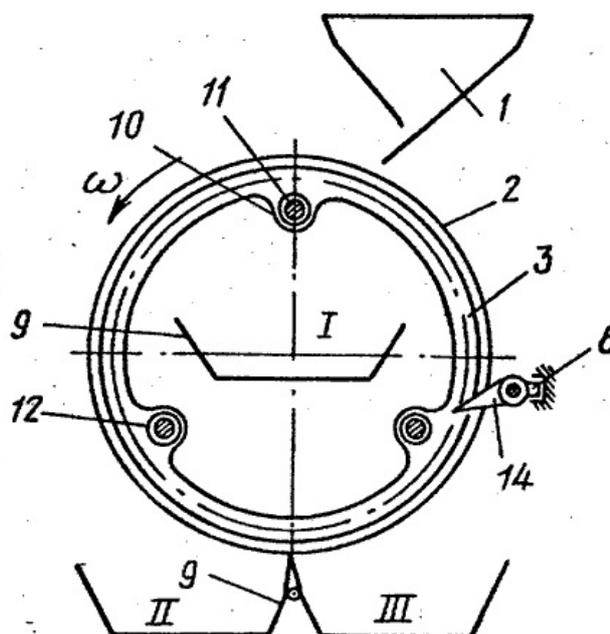


Рисунок 2. Принципиальная схема диэлектрического сепаратора (Земсков, Тарушкин, Казимирчук, Хайретдинов, 1991).

1 – питатель; 2 – вращающийся рабочий орган (РО);
3 – система электродов; 8 – очистное приспособление;
9 – приёмники фракций семян I, II и III; 10 – торы с проушинами;
11 – направляющие; 14 – шипы с возможностью перемещения вдоль РО

Диэлектрические сепараторы СДЛ-1 и СД-1 прошли государственные испытания, рекомендованы к производству и в настоящее время серийно выпускаются. Некоторые сепараторы, входящие в технологический комплекс, изготовлены в заводских условиях малыми сериями и переданы в научно-исследовательские учреждения и хозяйства страны. Диэлектрическое сепарирование семян обеспечивает сокращение расхода посевного материала в 1,5-2 раза, повышение урожайности сельскохозяйственных культур на 15-25% и снижает трудозатраты до 85% при их возделывании (Ямпиров, 2004).

Промышленная сепарация семян по их цветовым параметрам реализована в оптических сортировщиках (фотосепараторах) Ф5.1, Ф10.1, Ф15.1, Ф20.1, производства ООО «Воронежсельмаш» (Россия), а также зарубежных фирм-производителей Meyer, Cimbria, Buhler, TOMRA и др. В основе работы оптических сортировщиков лежит принцип освещения объекта светом различных длин волн видимого, ультрафиолетового и ближнего инфракрасного диапазона и автоматическое разделение семян на фракции на основе анализа цифровых изображений. Принципиальная схема оптического сортировщика (фотоэлектронного фотосепаратора Ф5.1) представлена на Рисунке 3 (Припоров, Садыкова, 2015).

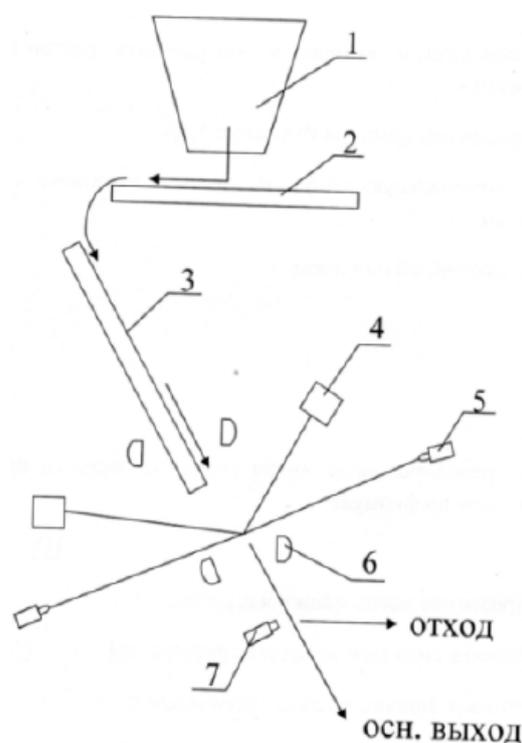


Рисунок 3. Принципиальная схема фотоэлектронного сепаратора Ф 5.1 (Припоров, Садыкова, 2015).

1 – бункер загрузочный; 2 – вибролоток питающий;
3 – каналы распределительные; 4 – сенсор оптоэлектронный;
5 – видеокамеры (ССD); 6 – подсветка (на 1 лотке – 2 камеры, 54 эжектора); 7 – пневмоклапан (эжектор)

Сортировщики, построенные на оптическом принципе, обладают потенциалом для выявления и удаления фракций семян, контаминированных грибами, а также поражённых вредителями в скрытой форме (Pasikatan, Dowell, 2001). Для минимизации попадания кондиционных семян в отходы предлагается использовать принцип

предварительного фракционирования, т.е. выравнивания по своим характеристикам семенного материала (Припоров, Садыкова, 2015; Inamdar, Suresh, 2014). По мнению авторов (Припоров, Садыкова, 2015; Inamdar, Suresh, 2014) очистка разделённых на размерные фракции семян позволит воздействовать на дефектные семена более точно; время воздействия на них воздушного потока уменьшится, что приведёт к увеличению выхода кондиционных семян. Отдельным направлением оптических сортировщиков является сепаратор iXeed CF Bulk Sorter, производства компании SeQSo, Нидерланды, основанный на принципе оценки флуоресценции хлорофилла семян (Nijenstein, 2017).

Рентгеновские сортировщики семян – одно из перспективных направлений промышленной сепарации растительного сырья в сельском хозяйстве. Разрабатываемые и существующие сепараторы семян, построенные на рентгеновском принципе, аналогично оптическим сортировщикам, имеют в своем составе блок распознавания изображений, позволяющий идентифицировать скрытые дефекты семян (Демьянчук, Архипов, 2010; Bruggink, 2017; Потрахов, Белецкий, 2017; Никольский, Ткаченко, Грязнов, Староверов, Холопова, Клонов, 2017). Принципиальная схема рентгеновского сепаратора (Никольский, Ткаченко, Грязнов, Староверов, Холопова, Клонов, 2017) представлена на Рисунке 4.

Современные рентгеновские сортировщики семян, производства компаний INCOTEC и SeQSo позволяют сепарировать семена некоторых видов пасленовых и тыквенных. При разработке сепараторов семян зерновых культур необходимо учитывать, что цифровые рентгеновские изображения семян были получены только в одной (единственной) проекции. При изменении положения зерновки при рентген-съёмке, визуализация и, соответственно, количественная оценка дефекта может быть отличной от первоначальной (Grundas, Velikanov, Archipov, 1999).

Заключение

Проведённый краткий аналитический обзор существующих методов и технических средств промышленной сепарации семян позволяет сделать следующие выводы:

1. При выборе метода и технического решения сепарации необходимо учитывать несколько

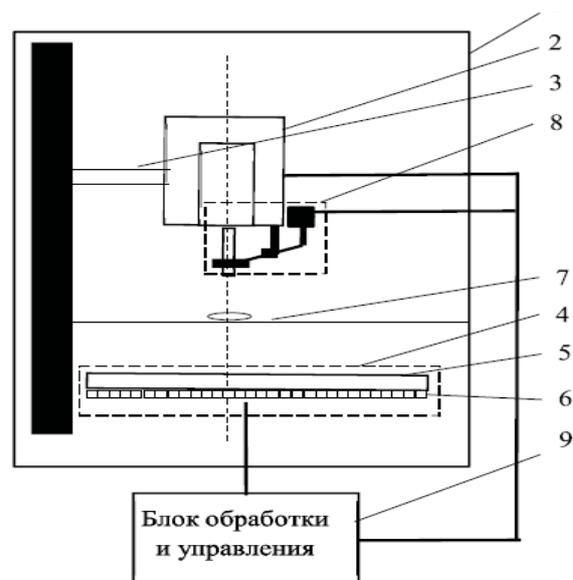


Рисунок 4. Принципиальная схема макета рентгеновского сепаратора (Никольский, Ткаченко, Грязнов, Староверов, Холопова, Клонов, 2017).

- 1 – рентгенозащитная камера; 2 – перестраиваемый микрофокусный источник рентгеновского излучения; 3 – система перемещения источника; 4 – приёмник рентгеновского излучения; 5 – осциллятор; 6 – матрица фоточувствительных транзисторов; 7 – система подачи семян; 8 – магнитная фокусирующая система; 9 – блок обработки и управления

факторов: целевое назначение сепарируемой партии, вид сельскохозяйственной культуры, исходные качественные характеристики сепарируемых партий семян, производительность оборудования и стоимость работ по сепарации. Данный принцип позволит подбирать оптимальное технологическое решение на основе одного метода сепарации, либо их сочетания (предварительное фракционирование), последний вариант представляется более обоснованным.

2. Эффективность проведенной сепарации необходимо оценивать с использованием комплекса стандартных методов оценки посевных качеств семян, а также дополнительных тестов (Архипов, Гусакова, Великанов, Виличко, Желудков, Алферов, 2013; Архипов, Прияткин, Гусакова, Борисова, Колесников, 2016), прежде всего – оценки скрытой дефектности семян методом микрофокусной рентгенографии (Архипов, Потрахов, 2008).

Комплексный подход при использовании различных физических методов и инструментария

позволит более эффективно решать задачи по отбору хозяйственно наиболее пригодных партий агросырья, в том числе, и для формирования страховых (переходящих) семенных региональных и федеральных фондов.

Литература

- [1] Макрушин Н. М., Макрушина Е. М., Шабанов Р. Ю., Есоян Е. А., Черемха Б. М. Семеноводство (методология, теория, практика). Симферополь: ИТ «Ариал», 2012. 564 с.
- [2] Тарушкин В. И. Диэлектрическая сепарация семян: автореферат дисс. доктора техн. наук. М., 1991. 32 с.
- [3] Ямпилев С. С. Технологические и технические решения проблемы очистки зерна решетками. Улан-Удэ: Изд-во ВСГТУ, 2004. 165 с.
- [4] Куценко Ю. Н. Обоснование структуры электрооборудования и системы автоматизированного управления установки сепарации зерновых культур // Вестник аграрной науки Дона. 2014. Т. 26. №2. С.15-21.
- [5] Басов А. М., Изаков Ф. Я., Шмигель В. Н. и др. Электрозерноочистительные машины: Теория, конструкции и расчет. М.: Машиностроение, 1968. 203 с.
- [6] Стерхова Т. Н. Сортирование семян огурца в электростатическом поле на ленточном триере: автореф. дисс. канд. техн. наук. М., 2005. 18 с.
- [7] Harmond J. E., Brandenburg N. R., Booster D. E. Seed cleaning by electrostatic separation // Agricultural Engineering. 1961. Vol. 42. P. 22-25.
- [8] Abdel-Salam M., Ahmed A., Kishki H. El. Seed sorting by electrostatic separation: an experimental study // Electrical Insulation and Dielectric Phenomena Annual Report conference on 17-20 October 2004. P. 377-380.
- [9] Земсков А. В., Тарушкин В. И., Казимирчук Д. А., Хайретдинов Р. Х. Диэлектрический сепаратор. Патент SU 1651970 A1 / Заявка № 4690934 от 15.05.1989. Опубл. 30.05.1991.
- [10] Припоров И. Е., Садыкова М. А. Усовершенствование работы фотоэлектронного сепаратора при разделении семян подсолнечника // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2015. №112. С. 1486-1498.
- [11] Pasikatan M. C., Dowell F. E. Sorting systems based on optical methods for detecting and removing seeds infested internally by insects or fungi: a review // Applied spectroscopy reviews. 2001. Vol. 36. No.4. P. 399-416.
- [12] Inamdar A. A., Suresh D. S. Application of color sorter in wheat milling // International Food Research Journal. 2014. Vol. 21. No.6. P. 2083-2089.
- [13] Nijenstein J. H. Chlorophyll fluorescence as an indicator of seed quality // Seed Testing International. 2017. No. 147. P. 7-9.
- [14] Демьянчук А. М., Демьянчук А. М. Неразрушающий контроль технологических и посевных характеристик качества внутренней структуры зерновки. Результаты и перспективы (Разработка промышленного рентгеновского сепаратора) // Матер. координационного совещания Агрофизического института, Санкт-Петербург, 25-26 марта 2010 г. Агрофизический научно-исследовательский институт. СПб., 2010. С.100-108.
- [15] Bruggink H. X-Ray based seed analysis H. Bruggink and van Duijn B. // Seed Testing International. 2017. No. 153. P. 43-50.
- [16] Потрахов Н. Н., Белецкий С. Л. Рентгенсепаратор – дальнейший шаг в развитии технологии оптической сепарации // Матер. второй российской конференции с международным участием «Физика – наукам о жизни», Санкт-Петербург, 18-22 сентября 2017 г. Физико-технический институт им. А. Ф. Иоффе. СПб, 2017. С. 153.
- [17] Никольский М. А., Ткаченко К. Г., Грязнов А. Ю., Староверов Н. Е., Холопова Е. Д., Клонов В. А. Рентгеновский сепаратор семян на основе метода съемки с прямым увеличением изображения // Успехи современного естествознания. 2017. № 10. С. 41-47.
- [18] Grundas S., Velikanov L., Archipov M. Importance of wheat grain orientation for the detection of internal mechanical damage by the X-Ray method // Int. Agrophysics. 1999. No.13. P. 355-

- 361.
- [19] Архипов М. В., Гусакова Л. П., Великанов Л. П., Виличко А. К., Желудков А. Г., Алферов В. Б. Методика комплексной оценки биологической и хозяйственной пригодности семенного материала. СПб.: АФИ, 2013. 52 с.
- [20] Архипов М. В., Прияткин Н. С., Гусакова Л. П., Борисова М. В., Колесников Л. Е. Методика исследования характеристик газоразрядного свечения семян. СПб: Изд-во Агрофиз. ин-та, 2016. 52 с.
- [21] Архипов М. В., Потрахов Н. Н. Микрофокусная рентгенография растений. СПб.: Изд-во «Технолит», 2008. 192 с.

Novel Principles and Technical Solutions of Seeds Sorting

Sergey L. Beletskiy

*Federal State Government Financed Institution Scientific Research Institute
of Storage Problems Federal Agency of State Reserves
40, Volochavskaya, Moscow, 111033, Russian Federation
E-mail: grain-miller@yandex.ru*

Nikolay S. Priyatkin

*Federal State Budgetary Scientific Institution Agrophysical Research Institute
14, Grazhdanskiy pr., St.Petersburg, 195220, Russian Federation
E-mail: prini@mail.ru*

Mikhail V. Arkhipov

*Federal State Budgetary Scientific Institution Agrophysical Research Institute
14, Grazhdanskiy pr., St.Petersburg, 195220, Russian Federation
Federal State Budgetary Scientific Institution Northwestern Center
for interdisciplinary research of the problems of food supply
6, Podbelskogo, St.Petersburg, 196608, Russian Federation
E-mail: szcentr@bk.ru*

Lyudmila P. Gusakova

*Federal State Budgetary Scientific Institution Agrophysical Research Institute
14, Grazhdanskiy pr., St.Petersburg, 195220, Russian Federation
E-mail: szcentr@bk.ru*

The short analytical review of the existing methods and technical solutions of seeds sorting for justification of the choice of the most optimum ways of her implementation and assessment of its efficiency is submitted. Information on the novel principles of seeds sorting is provided: mechanical, pneumatic, electric, optical and x-ray and also data on serial samples (model, the producer) seeds sorters represented at Russian and the foreign markets. References to containing experimental data about sowing qualities and technological properties on the sorted fractions of seeds are given. For minimization of hit of standard seeds in screenings it is offered to use, on the basis of the analysis of publications of native and foreign researchers, the principle of preliminary fractionation, i.e. alignment according to the characteristics of seed material. The role of a method of X-ray radiography analysis as bases of industrial x-ray sorting of seeds and as the independent method allowing estimate quality of fractions of the seeds separated by other (electrical) methods is discussed. On the basis of the analytical review need of account several factors is proved at the choice of a method and technical solution of sorting: purpose of the separated batches, a species of a crop, initial qualitative characteristics of the separated batches of seeds, productivity of the equipment and cost of works on sorting. For assessment of its efficiency of sorting it is offered to use a complex of standard and additional methods of assessment of sowing qualities of seeds, for the purpose of more effective solution of a task of selection of the most suitable consignments of agricultural raw materials.

Keywords: seeds sorting, technical solutions of sorting, sorting effectivity evaluation, microfocus X-Ray radiography

References

- (methodology, theory, practice)]. Simferopol: IT «Arial», 2012. 564 p.
- [1] Makrushin N. M., Makrushina E. M., Shabanov R. Yu., Esoyan E. A., Cheremha B. M. *Semenovodstvo (metodologiya, teoriya, praktika)* [Seed breeding
- [2] Tarushkin V. I. *Dielektricheskaya separatsiya semyan* [Dielectric sorting of seeds]: avtoreferat disc. doktora tekhn. nauk. M., 1991. 32 p.

- [3] Yampilov S. S. Tekhnologicheskie i tekhnicheskie resheniya problemy ochistki zerna reshetami [Technology and technical solutions of a problem of purification of grain with sieves]. Ulan-Udeh: Izd-vo VSGTU, 2004. 165 p.
- [4] Kucenko Yu. N. Obosnovanie struktury ehlektrooborudovaniya i sistemy avtomatizirovannogo upravleniya ustanovki separacii zernovykh kultur [Justification of structure of electric equipment and system of automated management of installation of separation of grain crops]. Vestnik agrarnoy nauki Dona, 2014, vol. 26, no. 2, 15-21.
- [5] Basov A. M., Izakov F. Ya., Shmigel V. N. Elektrozeroochistitelnye mashiny: Teoriya, konstrukcii i raschet [Electrical grain-cleaning machine: Theory, designs and analysis]. Moscow: Mashinostroenie, 1968. 203 p.
- [6] Sterhova T. N. Sortirovanie semyan ogurca v ehlektrostaticheskom pole na lentochnom triere [Sorting of seeds of a cucumber in electrostatic field on the tape grain-cleaning machine]: avtoref. diss. kand. tekhn. nauk. M., 2005. 18 p.
- [7] Harmond J. E., Brandenburg N. R., Booster D. E. Seed cleaning by electrostatic separation. Argicultural Engineering, 1961, vol. 42, 22-25.
- [8] Abdel-Salam M., Ahmed A., Kishki H. El. Seed sorting by electrostatic separation: an experimental study. Electrical Insulation and Dielectric Phenomena Annual Report conference, 2004. P. 377-380.
- [9] Zemskov A. V., Tarushkin V. I., Kazimirchuk D.A., Hayretidinov R. H. Dielektricheskiy separator [Dielectric separator]. Patent SU 1651970 A1 / Zayavka № 4690934 ot 15.05.1989. Opubl. 30.05.1991.
- [10] Priporov I. E., Sadykova M. A. Uovershenstvovanie raboty fotoehlektronnogo separatora pri razdelenii semyan podsolnechnika [Improving the photoelectron separator when separating sunflower seeds]. Politematicheskiy setevoy ehlektronnyy nauchnyy zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta, 2015, no. 112, 1486-1498.
- [11] Pasikatan M. C., Dowell F. E. Sorting systems based on optical methods for detecting and removing seeds infested internally by insects or fungi: a review. Applied spectroscopy reviews, 2001, vol. 36, no. 4, 399-416.
- [12] Inamdar A. A., Suresh D. S. Application of color sorter in wheat milling. International Food Research Journal, 2014, vol. 21, no. 6, 2083-2089.
- [13] Nijenstein J. H. Chlorophyll fluorescence as an indicator of seed quality. Seed Testing International, 2017, no. 147, 7-9.
- [14] Demyanchuk A. M., Arhipov M. V. Nerazrushayushchiy kontrol' tekhnologicheskikh i posevnykh harakteristik kachestva vnutrenney struktury zernovki. Rezul'taty i perspektivy (Razrabotka promyshlennogo rentgenovskogo separatora) [Nondestructive control of technical and sowing characteristics on quality of internal structure of caryopsis. Results and prospects (Development of an industrial x-ray sorter)]. Materialy koordinatsionnogo soveshchaniya Agrofizicheskogo instituta, Sankt-Peterburg, 25-26 marta 2010. SPb.: Agrofizicheskii nauchno-issledovatel'skiy institut, 2010, 100-108.
- [15] Bruggink H. X-Ray based seed analysis H. Bruggink and van Duijn B. Seed Testing International, 2017, no. 153, 43-50.
- [16] Potrakhov N. N., Beletskiy S. L. Rentgenseparator – dalneyshiy shag v razvitii tekhnologii opticheskoy separatsii [X-ray sorter – a further step in development of technology of optical separation]. Materiyvtoroy rossiyskoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem «Fizika – naukam o zhizni», Sankt-Peterburg, 18-22 sentyabrya 2017. SPb.: Fiziko-tekhnicheskiy institut im. A. F. Ioffe, 2017, 153.
- [17] Nikolskiy M. A., Tkachenko K. G., Gryaznov A. Yu., Staroverov N. E., Holopova E. D., Klonov V. A. Rentgenovskiy separator semyan na osnove metoda semki s pryamym uvelicheniem izobrazheniya [Using x-ray separator with direct image increase for seed latent defects` identification]. Uspekhi sovremennogo estestvoznaniya, 2017, no. 10, 41-47.
- [18] Grundas S., Velikanov L., Archipov M. Importance of wheat grain orientation for the detection of internal mechanical damage by the X-Ray method. Int. Agrophysics, 1999, no. 13, 355-361.
- [19] Arkhipov M. V., Gusakova L. P., Velikanov L. P., Vilichko A. K., Zheludkov A. G., Alferov V. B. Metodika kompleksnoy otsenki biologicheskoy i hozyaystvennoy prigodnosti semennogo

- materiala [Technique of complex assessment of biological and economic suitability of seed material]. SPb.: AFI, 2013. 52 p.
- [20] Arkhipov M. V., Priyatkin N. S., Guskova L. P., Borisova M. V., Kolesnikov L. E. Metodika issledovaniya harakteristik gazorazryadnogo svecheniya semyan [Research technique of gas discharge glow characteristics of seed]. SPb: Izd-vo Agrofiz. in-ta, 2016. 52 p.
- [21] Arkhipov M. V., Potrakhov N. N. Mikrofokusnaya rentgenografiya rasteniy [Microfocus X-ray analysis of plants]. SPb.: Izd-vo «Tekhnolit», 2008. 192 p.