

ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ

УДК 631.53.024

<https://doi.org/10.26897/2687-1149-2025-4-47-53>

Параметры работы фотосепаратора для эффективной очистки семян люцерны от повилики

*Д.С. Тарабрин¹, В.А. Гулевский²*¹ Всероссийский научно-исследовательский институт защиты растений; п. ВНИИСС, Россия² Воронежский государственный аграрный университет им. Императора Петра I; г. Воронеж, Россия¹ tarabrinds@ya.ru[✉]; <https://orcid.org/0009-0004-7944-5674>² gulevsky_va@inbox.ru; <https://orcid.org/0009-0002-1637-304X>

Аннотация. Фотосепараторы демонстрируют высокую эффективность при очистке посевного материала от засорителей. Однако при обработке мелкосемянных культур разрешение камер фотосепараторов не позволяет эффективно детектировать трудноотделимые примеси. Исследования проведены с целью определения оптимальных настроек систем фотосепаратора SmartSort C для удаления семян карантинной повилики при конечной очистке люцерны сорта «Артемиды» урожая 2024 г. Сортировку образцов с последующим анализом очищенной фракции и отходов производили при следующих параметрах работы фотосепаратора: задержка эжекторов – 2,6, 27 и 3,3 мс; давление – 1 и 2 бар; освещение – белый свет и белый свет совместно с инфракрасным излучением. Эффективность выделения семян повилики определяли при засоренности семенами люцерны 0,63; 0,32; 0,14%. При сравнении изображений снимков с RGB камер фотосепаратора, полученных при инфракрасном освещении совместно с белым светом на фоне инфракрасного спектра, обнаружили, что семена люцерны с более гладкой текстурой оболочки засвечены и выглядят как белые пятна, тогда как семена повилики с шероховатой оболочкой контрастируют черными точками. При инфракрасном освещении совместно с белым светом контрастность семян повилики увеличилась на 40%. Увеличение засоренности семенами повилики на 0,1% приводит к снижению качества очистки семян люцерны фотосепаратором в среднем на 1,16%. Полного удаления семян повилики из семян люцерны удалось достичь при использовании ИК-фона и подсветкой белым светом, давлении пневмосистемы 2,0 бар, задержке срабатывания эжекторов 2,6 мс, удельной загрузке машины на 1 лоток 85 кг/ч и при уровне засоренности 0,14%. Результаты исследований могут быть использованы при внедрении систем машинного обучения и искусственного интеллекта в программное обеспечение разрабатываемых отечественных фотосепараторов.

Ключевые слова: фотосепаратор; очистка семян; семена люцерны; семена повилики; удаление семян повилики; ИК-фон; параметры работы фотосепаратора

Для цитирования: Тарабрин Д.С., Гулевский В.А. Параметры работы фотосепаратора для эффективной очистки семян люцерны от повилики // *Агроинженерия*. 2025. Т. 27, № 4. С. 47-53. <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2025-4-47-53>

ORIGINAL ARTICLE

Operating parameters of a color sorter used for effective cleaning alfalfa seeds from dodder

*D.S. Tarabrin¹, V.A. Gulevskiy²*¹ All-Russian Scientific Research Institute of Plant Protection; VNIISS, Russia² Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter I; Voronezh, Russia¹ tarabrinds@ya.ru[✉]; <https://orcid.org/0009-0004-7944-5674>² gulevsky_va@inbox.ru; <https://orcid.org/0009-0002-1637-304X>

Abstract. Color sorters demonstrate high efficiency in cleaning seed material from contaminants. However, when processing small-seeded crops, the resolution of color sorter cameras does not ensure the effective detection of hard-to-separate impurities. The study aimed to determine the optimal settings for the SmartSort C color sorter systems for removing quarantine dodder seeds during the final cleaning of the Artemida alfalfa variety harvested in 2024. The authors used the following operating parameters of a color sorter to sort samples and subsequently analyze the cleaned purified fraction and waste: an ejector response delay of 2.6, 27 and 3.3 ms, a pressure of 1 and 2 bar, illumination – white light and white light combined with infrared (IR) radiation. The efficiency of dodder seed

separation was determined for alfalfa seed contamination of 0.63, 0.32, and 0.14%. When comparing the images from the RGB cameras of the color sorter obtained with IR illumination together with white light against the background of the IR spectrum, it was found that alfalfa seeds with a smoother shell texture are overexposed and look like white spots, while dodder seeds with a rough shell contrast with black dots. When IR illumination was combined with white light, the contrast of dodder seeds increased by 40%. An increase in dodder seed contamination by 0.1% leads to a decrease in the quality of alfalfa seed cleaning by the color sorter, on average, by 1.16%. The complete removal of dodder seeds from alfalfa seeds by means of an IR background and white light illumination was observed at a pneumatic system pressure of 2.0 bar, an ejector response delay of 2.6 milliseconds, a specific machine load per one tray of 85 kg/h and a contamination level of 0.14%. The study results can be used in the implementation of machine learning and artificial intelligence systems in the software of domestic color sorters.

Keywords: color sorter; seed cleaning; alfalfa seeds; dodder seeds; dodder seed removal4 IR-background; operating parameters of a color sorter

For citation: Tarabrin D.S., Gulevskiy V.A. Operating parameters of a color sorter used for effective cleaning alfalfa seeds from dodder. *Agricultural Engineering (Moscow)*. 2025;27(4):47-53 (In Russ.). <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2025-4-47-53>

Введение

Очистка семян люцерны от семян повилики – критически важная задача в сельском хозяйстве, так как повилика является карантинным сорняком [1]. Современные фотосепараторы, несмотря на доказанную высокую эффективность при сортировке сыпучих материалов по цвету [2], не всегда могут обеспечить полное удаление трудноотделимых примесей по причине ограниченного разрешения камер [3-4]. Несмотря на то, что многие фотосепараторы для повышения контрастности изображений имеют камеры, работающие в инфракрасном спектре, а также инфракрасную подсветку рабочей области [5], производители не дают рекомендаций по их применению при сортировке семян сельскохозяйственных культур [6, 7].

В 2023 г. в лаборатории механизации защиты растений ФГБНУ «ВНИИЗР» разработали агрегат для очистки семян люцерны, в состав которого входит фотосепаратор (патент РФ № 2819437) [8]. При этом в рамках НИР установили, что при рекомендуемых производителем настройках не удастся полностью удалять семена повилики при очистке семян люцерны.

Можно предположить, что рациональная настройка систем фотосепаратора позволит достигнуть максимальной степени очистки семян люцерны от повилики.

Цель исследований: определение оптимальных параметров работы фотосепаратора для максимально эффективной очистки семян люцерны от семян повилики.

Материалы и методы

Проведен ряд эмпирических исследований процесса очистки семян люцерны от повилики. Опыты проводили на фотосепараторе SmartSort C¹ (рис. 1)

¹ Фотосепаратор SmartSort C3. URL: https://c-sort.ru/?utm_source=yandex&utm_medium=cpc&utm_campaign=poisk-lending&utm_content=16844441236&utm_term=сисорт&yclid=6558984344868225023 (дата обращения: 14.03.2025).

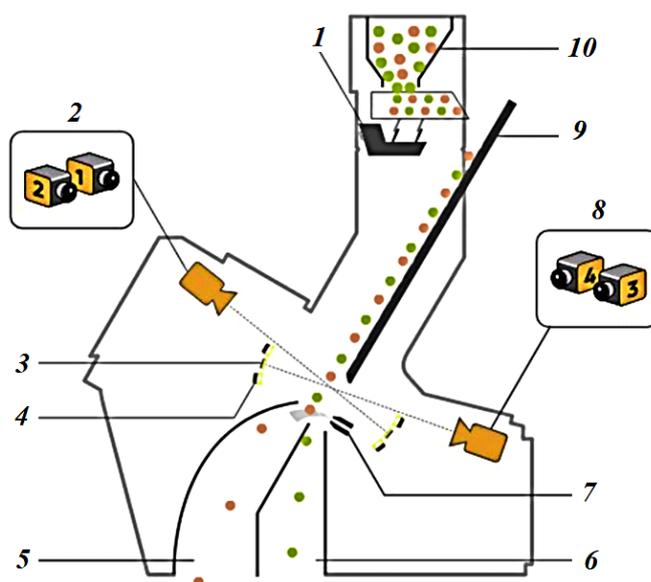


Рис. 1. Схема фотосепаратора SmartSort C.

Основные компоненты:

- 1 – вибропитатель; 2 – передние камеры;
- 3 – фоновый экран; 4 – лампы освещения;
- 5 – патрубок негодного продукта;
- 6 – патрубок годного продукта; 7 – эжекторы;
- 8 – задние камеры; 9 – наклонный лоток;
- 10 – загрузочный бункер

Fig. 1. Main Components of the SmartSort C Color Sorter Diagram:

- 1 – vibrating feeder; 2 – front chambers;
- 3 – background screen; 4 – illumination lamps;
- 5 – pipe for unusable products;
- 6 – pipe for usable products; 7 – ejectors;
- 8 – rear chambers; 9 – inclined tray;
- 10 – loading hopper

обособленного подразделения ООО «СиСорт», г. Воронеж. Определение оптимальных параметров и настройку фотосепаратора проводили на исходном ворохе люцерны сорта «Артемид» урожая 2024 г. с содержанием семян повилики в диапазоне 0,006...0,010%.

Подлежащий сортировке материал из загрузочного бункера 10 вибропитателем 1 подается на наклонный лоток 9 (рис. 1). Под действием силы тяжести частицы скатываются по наклонной поверхности лотка 9, при этом за счет трения о поверхность расстояние между частицами увеличивается, что позволяет снизить погрешность сортировки. Далее частицы попадают в зону детекции, где с помощью камер 2, 8 определяются наличие и местоположение засорителя (частиц негодного продукта). При снятии изображения камерами для большей контрастности используются фоновые экраны 3 и дополнительная подсветка 4. Обработав информацию с камер, электронный блок управления открывает необходимый эжектор 7 пневмосистемы, откуда под определенным давлением вырывается воздушная струя, точно удаляя частицу засорителя в отход. Частицы основного продукта без внешнего воздействия двигаются по траектории свободного падения в основной сборник [9, 10].

Определение оптимальных настроек систем фотосепаратора для очистки семян люцерны от повилики проводили в 2 этапа.

На первом этапе установили возможность определения семян повилики камерами фотосепаратора при трех режимах работы систем фиксации изображения при рекомендуемых режимах работы пневмосистемы (табл. 1).

Для определения эффективности выделения семян повилики из семян люцерны использовали смесь: в очищенный образец семян весом 300 г добавили 1000 шт. семян повилики, что соответствовало 0,17% засоренности.

Установив возможность различать семена повилики от семян люцерны на изображениях с камер фотосепаратора, мы провели исследования по определению оптимальных настроек систем фотосепаратора для эффективного удаления семян повилики. Для этого подготовили образец семян с засоренностью семенами повилики 0,14% и приняли ее как базовую.

Качество процесса фотосепарации определяли при различных настройках SmartSort C (табл. 2).

После каждой корректировки параметров из очищенной и отходовой фракций отбирали образцы весом 30 г и в лаборатории механизации защиты растений ФГБНУ «ВНИИЗР» устанавливали количество семян повилики в них.

Эффективность выделения семян повилики определяли при засоренности семенами люцерны 0,63; 0,32; 0,14%.

Результаты и их обсуждение

По рекомендуемому производителем параметрам произвели сортировку подготовленного образца семян люцерны с содержанием повилики 0,17% с фотофиксацией процесса (рис. 2).

Отметим, что семена люцерны и повилики, запечатленные стандартной камерой фотосепаратора, визуально трудноразличимы. Кроме того, разрешение камеры является недостаточным, чтобы уловить имеющиеся между ними различия в форме, не говоря уже о текстуре оболочек этих семян, имеющих значительные отличия (рис. 3).

Режимы процесса фотосепарации, рекомендуемые производителем

Таблица 1

Color sorting modes recommended by the manufacturer

Table 1

Вариант <i>Option</i>	Задержка эжектора, мс <i>Ejector delay, ms</i>	Давление, бар <i>Pressure, bar</i>	Освещение <i>Lighting</i>	Фон <i>Background</i>
A	3,2	2	ИК + белый свет / <i>IR + white light</i>	цветной / <i>Color</i>
B	3,2	2	ИК + белый свет / <i>IR + white light</i>	ИК / <i>IR</i>
C	3,0	2	белый свет / <i>white light</i>	ИК / <i>IR</i>

Таблица 2

Предлагаемые режимы процесса фотосепарации

Table 2

Proposed color sorting modes

Вариант <i>Option</i>	Задержка эжектора, мс <i>Ejector delay, ms</i>	Давление, бар <i>Pressure, bar</i>	Освещение <i>Lighting</i>	Фон <i>Background</i>
I	3,2	2	ИК + белый свет / <i>IR + white light</i>	цветной / <i>Color</i>
II	3,2	1	ИК + белый свет / <i>IR + white light</i>	ИК / <i>IR</i>
III	2,7	2	белый свет / <i>white light</i>	ИК / <i>IR</i>
IV	2,6	2	белый свет / <i>white light</i>	ИК / <i>IR</i>

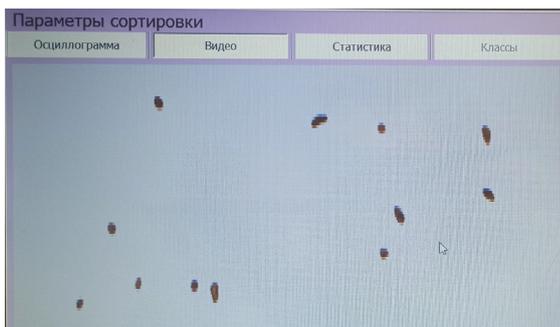


Рис. 2. Захват изображения с камер фотосепаратора в процессе очистки семян люцерны, вариант А

Fig. 2. Image capture from the cameras of the color sorter during the cleaning of alfalfa seeds – Version A



a



b

Рис. 3. Семена люцерны (a) и повилики (b)

Fig. 3. Alfalfa seeds (a), dodders (b)



Рис. 4. Фотоснимок семян RGB камерой на инфракрасном фоне при инфракрасном освещении, совмещенном с белым светом, вариант В

Fig. 4. Photo of seeds with an RGB camera on an infrared background with infrared light combined with white light – Version B

На фотографиях люцерны и повилики хорошо заметны различия не только в размере и оттенке семян этих видов, но и в текстуре внешней оболочки. Семена люцерны имеют более гладкую и глянцевую оболочку (3a), в то время как семена повилики – шершавую неоднородную, внешне напоминающую поверхность абразивной бумаги (3b). Несмотря на столь очевидные различия, высокоскоростные камеры существующих фотосепараторов, используемых на сельхозпредприятиях, имеют недостаточное разрешение, чтобы эти различия уловить.

На основе анализа изображений сравниваемых семян провели исследования процесса фотосепарирования в инфракрасном (ИК) спектре (варианты В и С). Когда настроили инфракрасное освещение совместно с белым светом, семена получили контрастность на снимках с RGB камер фотосепаратора (рис. 4).

Отметим, что семена с более гладкой текстурой оболочки засвечены и выглядят как белые пятна, тогда как семена с шероховатой оболочкой контрастируют черными точками.

При данных параметрах были определены семена повилики, но в результате сортировки производилось некорректное разделение материала в образцах годного продукта: семян повилики было больше, чем в отходах. При этом регулировка задержки эжекторов влияла незначительно: так, при задержке в 3,2 мс в отход выносилось на 22% меньше семян засорителя в сравнении с образцом, где задержка составляла 3,0 мс. При этом в варианте II содержание семян повилики в очищенном образце и в отходе было примерно равным. Образцы варианта III показали содержание семян повилики в очищенном образце больше, чем в отходе.

Дальнейшие исследования проводили, отталкиваясь от результатов предыдущего опыта. При этом после каждой корректировки параметров отбирали образцы по 30 г из очищенной и отходовой фракций и вычисляли количество семян повилики в них. Для каждого варианта настроек (табл. 2) проводили сортировку образцов с последующим анализом очищенной фракции и отходов. Количество семян повилики фиксировали в трех повторностях.

В результате разбора образцов весом 30 г получили следующие результаты: в I варианте в отход вынеслось около 65 шт. семян повилики, а в очищенной массе их обнаружено 10 шт.; во II варианте в отходе было на 60% меньше семян повилики, а в очищенной части их количество осталось на том же уровне; в III варианте вынос в отход семян повилики увеличился на 48%, а в очищенной части их количество снизилось на 33%, или до 6 шт.;

в IV варианте количество семян повилики в очищенной части не превышало 1 шт. (обнаружено в одном образце из трех исследуемых) (табл. 3).

По результатам выделения семян повилики из вороха люцерны установили наиболее эффективные параметры фотосепаратора: фон инфракрасного спектра в совокупности с освещением белым светом; фиксация изображения RGB камерой; давление в системе 2,0 бар; задержка срабатывания эжекторов – 2,6 мс. При этом стоит учитывать, что определение параметров настройки фотосепаратора проводилось на смеси семян, где содержание повилики в несколько раз превышало ее наличие в исследуемом ранее комбайновом ворохе.

Установив оптимальные настройки фотосепаратора, далее определяли влияние засоренности исходного вороха и производительности агрегата на эффективность сортировки.

Дальнейшее исследование возможности повышения эффективности выделения семян сорняков

на фотосепараторе основывалось на определении влияния исходной засоренности очищаемого материала на эффективность очистки. Для этого в семена люцерны добавили различное количество семян повилики и получили 3 образца: 1 – с засоренностью повиликой 0,63%; 2 – с засоренностью 0,32%; 3 – с засоренностью 0,14%.

Зависимость полноты выделения примесей от исходной чистоты вороха люцерны при установленных ранее параметрах и стандартной производительности фотосепаратора 100 кг/ч представлена на рисунке 5.

При незначительном снижении чистоты исходного вороха происходит значительное снижение полноты выделения. При этом повышение чистоты исходного вороха на 0,1% позволяет повысить полноту выделения на 1% и более (рис. 5). Это особенно важно в случае выделения семян повилики из вороха люцерны, что является исключительным процессом по своим характеристикам.

Таблица 3

Сравнение параметров настроек и их эффективности

Table 3

Comparison of settings and their effectiveness

Вариант <i>Option</i>	Задержка эжектора, мс <i>Ejector delay, ms</i>	Давление, бар <i>Pressure, bar</i>	Освещение <i>Lighting</i>	Фон <i>Background</i>	Содержание семян повилики в образцах, шт. <i>Dodder seed content in samples, pcs.</i>	
					очищенный <i>Cleaned</i>	отход <i>Waste</i>
I	3,2	2	ИК + белый свет / IR + white light	цветной / Color	10	65
II	3,2	1	ИК + белый свет / IR + white light	ИК / IR	9	26
III	2,7	2	белый свет / white light	ИК / IR	6	50
IV	2,6	2	белый свет / white light	ИК / IR	≤1	98

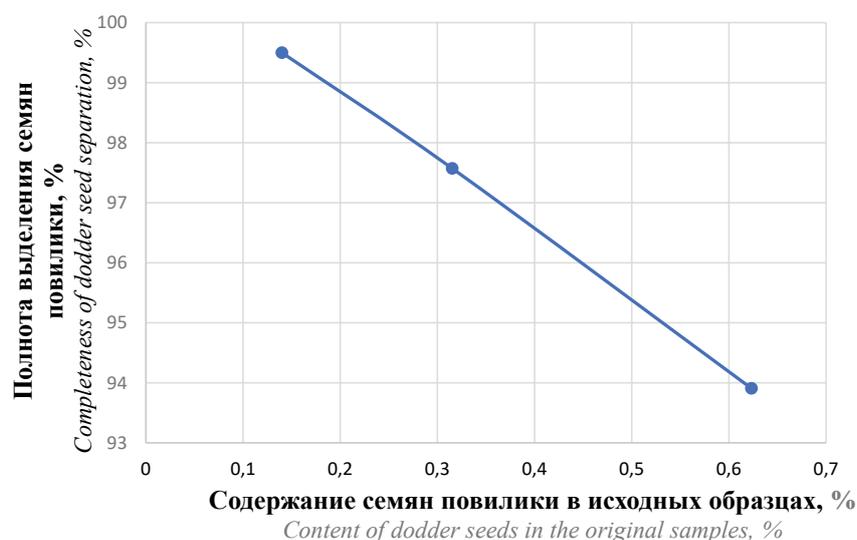


Рис. 5. Зависимость полноты выделения от содержания семян повилики в исходном ворохе

Fig. 5. Relationship between the completeness of separation and the content of dodder seeds in the initial heap

Далее провели исследование влияния уровня удельной подачи фотосепаратора на эффективность удаления семян повилики из люцерны. При этом, отталкиваясь от рекомендуемой производителем подачи на уровне 100 кг/ч, для сравнения установили производительность агрегата ниже и выше рекомендуемого производителем параметра и провели очистку материала с базовой засоренностью повиликой в 0,14%.

Результаты обработки данных представлены на рисунке 6.

Отметим, что при минимальной производительности фотосепаратора 85 кг/ч мы получили 100%-ную полноту выделения семян повилики. Повышение производительности до 130 кг/ч приводит к снижению полноты выделения примесей до 99%. Такое снижение имеет большое значение, когда засорителем являются семена карантинного сорняка.

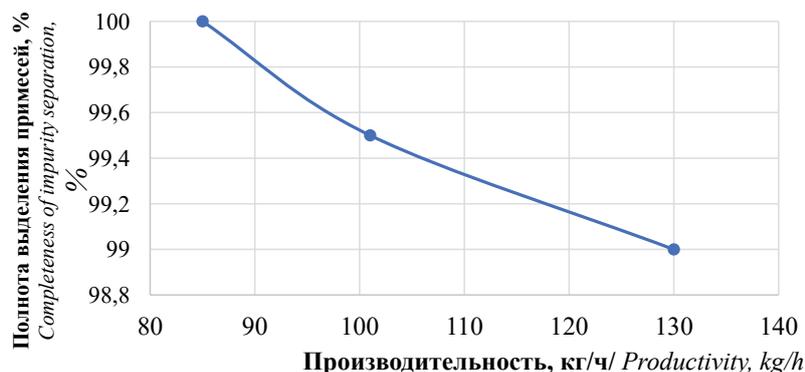


Рис. 6. Зависимость полноты выделения примесей от производительности фотосепаратора

Fig. 6. Relationship between the completeness of impurity separation and the capacity of the color sorter

Выводы

1. При очистке семян люцерны на фотосепараторе применение ИК-фона в совокупности с подсветкой белым светом увеличивает контрастность семян повилики на 40%.

2. Увеличение засоренности исходного образца семенами повилики на 0,1% приводит к снижению качества очистки семян люцерны фотосепаратором в среднем на 1,16%.

3. Полного удаления семян повилики из семян люцерны на фотосепараторе SmartSort С удалось достичь при использовании ИК-фона и подсветкой

белым светом, давлении пневмосистемы 2,0 бар, задержке срабатывания эжекторов 2,6 мс, при удельной загрузке машины на 1 лоток 85 кг/ч и уровне засоренности 0,14%.

4. Для эффективной сортировки необходимо производить калибровку давления пневмосистемы и определять время задержки эжекторов фотосепаратора под конкретный материал.

5. Результаты исследований могут быть использованы при внедрении систем машинного обучения и искусственного интеллекта в программное обеспечение разрабатываемых отечественных фотосепараторов.

Список источников

1. Тарабрин Д.С., Гулевский В.А., Шебалин Е.Н. Разработка технологической схемы и обоснование параметров очистки семян люцерны // Наука в центральной России. 2024. № 5 (71). С. 17-25. <https://doi.org/10.35887/2305-2538-2024-5-17-25>
2. Тарасенко А.П., Оробинский В.И., Мерчалова М.Э. Инновационное направление совершенствования послеуборочной обработки зерна // Лесотехнический журнал. 2013. № 3. С. 161-164. EDN: RQQPHD
3. Стукалова А.В., Ямпиллов С.С., Балданов В.Б. Обзор современных фотосепараторов // Вестник ВСГУТУ. 2024. № 1 (92). С. 62-71. https://doi.org/10.53980/24131997_2024_1_62
4. Шафоростов В.Д., Припоров И.Е. Качественные показатели фотосепаратора по фракционной технологии при разделении семян подсолнечника // Международный научно-исследовательский журнал. 2015. № 1-3 (32). С. 23-25. EDN: TIJJQN
5. Hu X., Yang L., Zhang Z. et al. Differentiation of alfalfa and sweet clover seeds via multispectral

References

1. Tarabrin D.S., Shebalin E.N., Gulevsky V.A. Development of a technological scheme and justification of alfalfa seed cleaning parameters. *Science in the Central Russia*. 2024;5(71);17-25. (In Russ.) <https://doi.org/10.35887/2305-2538-2024-5-17-25>
2. Tarasenko A.P., Orobinsky V.I., Merchalova M.E. Innovative direction of improving post-harvest grain handling. *Forestry Engineering Journal*. 2013;3;161-164. (In Russ.)
3. Stukalova A.V., Yampilov S.S., Baldanov V.B. Review of modern photoseparators. *ESSTUM Bulletin*. 2024;1(92);62-71. (In Russ.)
4. Shaforostov V.D., Priporov I.E. Qualitative indicators of work of the photoseparator on fractional technologies at division of sunflower seed. *International Research Journal*. 2015;1-3(32);23-25. (In Russ.)
5. Hu X., Yang L., Zhang Z. et al. Differentiation of alfalfa and sweet clover seeds via multispectral imaging. *Seed Science and Technology*. 2020;48(1);83-99. <https://doi.org/10.15258/sst.2020.48.1.11>

imaging. *Seed Science and Technology*. 2020;48(1):83-99. <https://doi.org/10.15258/sst.2020.48.1.11>

6. Чиркова Л.В., Белецкий С. Сепарирование по цвету // *Хлебопродукты*. 2005. № 5. С. 42-43. EDN: VNWSUP

7. Бутовченко А.В. Применение механизированной очистки и фотосепарации семенного зерна и початков кукурузы в современных технологиях // *Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета*. 2018. № 135. С. 158-168. <https://doi.org/10.21515/1990-4665-135-014>

8. Агрегат для очистки семян люцерны: Патент RU2819437 С1, МПК В07В9/02 (2024.01), А01F 12/44(2024.01) / Д.С. Тарабрин, Е.Н. Шебалин, В.А. Гулевский; заявл. 18.01.2024; опубл. 21.05.2024, Бюл. № 15. EDN: ENJZPW

9. Мяснянкин К.В., Агеев А.А., Тарасенко А.П. Влияние типа лотков на качество очистки гречихи фотосепаратором // *Техника в сельском хозяйстве*. 2014. № 6. С. 5-7. EDN: UHWREJ

10. Мяснянкин К.В., Тарасенко А.П. Влияние уровня вибрации вибропитателя фотосепаратора на качество очистки гречихи // *Тракторы и сельхозмашины*. 2015. № 12. С. 26-28. EDN: SYMSUQ

6. Chirkova L.V., Beletskiy S. Color separation. *Khleboprodukt*. 2005;5:42-43. (In Russ.)

7. Butovchenko A.V. Use of mechanical cleaning and color sorting of seed grain and corn cobs in modern technologies. *Polythematic Online Scientific Journal of Kuban State Agrarian University*. Krasnodar: KubGAU, 2018;135;158-168. (In Russ.)

8. Tarabrin D.S., Shebalin E.N., Gulevskii V.A. Alfalfa seeds cleaning unit: Patent No. 2819437 Russian Federation, IPC B07B9/02(2024.01), A01F12/44(2024.01), 2024. (In Russ.)

9. Myasnyankin K.V., Ageev A.A., Tarasenko A.P. Influence of the type of trays on the quality of buckwheat cleaning with a color sorter. *Tekhnika v selskom khozyaystve*. 2014;6;5-7. (In Russ.)

10. Myasnyankin K.V., Tarasenko A.P. Influence of vibration level of color sorter's vibratory feeder on the quality of buckwheat seeds cleaning. *Tractors and Agricultural Machinery*. 2015;12;26-28. (In Russ.)

Информация об авторах

¹ **Тарабрин Дмитрий Сергеевич**, канд. техн. наук, старший научный сотрудник, Всероссийский научно-исследовательский институт защиты растений; 396030, Воронежская область, Рамонский район, п. ВНИИСС, 92; tarabrinds@ya.ru; <https://orcid.org/0009-0004-7944-5674>; SPIN-код: 3764-3489, AuthorID: 798160

² **Гулевский Вячеслав Анатольевич**, д-р техн. наук, профессор кафедры математики, Воронежский государственный аграрный университет им. императора Петра I; 394087, г. Воронеж, ул. Мичурина 1; gulevsky_va@inbox.ru; <https://orcid.org/0009-0002-1637-304X>; SPIN-код: 4081-3587, AuthorID: 305636

Вклад авторов

Д.С. Тарабрин – разработка методологии, проведение исследования, создание черновика рукописи, создание окончательной версии (доработка) рукописи и ее редактирование; В.А. Гулевский – формулирование основной концепции исследования, научное руководство.

Статья поступила 14.03.2025, после рецензирования и доработки 28.05.2025; принята к публикации 20.06.2025

Author Information

Dmitriy S. Tarabrin¹, CSc (Eng), Senior Research Engineer, All-Russian Research Institute of Plant Protection; 396030, Voronezh Region, Ramon District, 92; tarabrinds@ya.ru; <https://orcid.org/0009-0004-7944-5674>

Vyacheslav A. Gulevsky², DSc (Eng), Professor, Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter I; 394087, Voronezh Region, Voronezh, Michurina Str. 1; gulevsky_va@inbox.ru; <https://orcid.org/0009-0002-1637-304X>

Author Contribution

D.S. Tarabrin – methodology, investigation, writing – original draft, review and editing of the manuscript;

V.A. Gulevskiy – conceptualization, research supervision.

Received 14.03.2025; Revised 28.05.2025; Accepted 20.06.2025