

ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИИ АПК

ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ

УДК 631.356.46:004.8

<https://doi.org/10.26897/2687-1149-2026-4-4-13>

Автоматизированный модуль сепарации клубней картофеля от почвенных примесей: разработка и исследование

А.С. Дорохов¹, М.Н. Ерохин², А.В. Сибирёв^{3✉}, М.А. Мосяков⁴, Д.Н. Кынев⁵^{1,3,4,5} Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ; г. Москва, Россия² Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; г. Москва, Россия¹ dorokhov.vim@yandex.ru; <https://orcid.org/0000-0002-4758-3843>² er.mihn@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0001-6573-0950>³ sibirev2011@yandex.ru[✉]; <https://orcid.org/0000-0002-9442-2276>⁴ maks.mosyakov@yandex.ru; <https://orcid.org/0000-0002-5151-7312>⁵ dnkynev@mail.ru

Аннотация. Качество выполнения уборочной операции определяется сохранением товарной продукции с минимальным количеством почвенно-растительных примесей. С целью повышения качества процесса уборки картофеля разработан и изготовлен автоматизированный модуль сепарации картофеля от почвенных примесей. Автоматизированный модуль сепарации позволяет получать изображения движущихся биологических объектов, распознавать и обрабатывать их, формировать изображения в образы с последующей классификацией их по уровням (картофель и комки почвы), разделять клубни картофеля и комки почвы потоком сжатого воздуха. Разработанная оптическая система идентификации биологических объектов сочетает модуль подачи и оптическую систему идентификации с системой подсвечивания. Модуль подачи продукции представляет собой конвейер с регулируемой скоростью подачи от 0,5 до 3,0 м/с. Оптическая система идентификации включает в себя техническое зрение и блок управления с системой подсвечивания биологических объектов. Система технического зрения предусматривает наличие камеры с разрешением не менее 5400 пикселей и режимами работы в диапазоне спектров RGB+RGB или NIR+RGB. Лабораторно-полевые испытания автоматизированного модуля сепарации картофеля от почвенных примесей выполнили на уборке картофеля сорта Прайм с урожайностью 236,0 ц/га при глубине хода подкапывающих рабочих органов картофелеуборочного комбайна до 20 см. Поступательная скорость движения комбайна варьировалась в диапазоне 1,0...1,8 м/с, поступательная скорость движения полотна пруткового элеватора достигала 1,55...1,67 м/с. Установили, с ростом поступательной скорости движения элеватора от 1,0 до 1,8 м/с увеличиваются повреждаемость клубней картофеля от 1,2 до 1,9% и полнота сепарации клубненосного вороха от 94,5 до 98,8%. Показатели качества уборочной операции при глубине хода рабочих органов 14,9 см не превысили требований технического задания: полнота сепарации картофеля составила 97,1%, потери клубней картофеля – 2,9%, количество клубней в составе вороха – 80,3%. Результаты исследований послужат в качестве основы для дальнейшего совершенствования автоматизированных систем уборки картофеля и разработки рекомендаций по оптимизации процессов сепарации и повышению качества продукции.

Ключевые слова: комбайн; картофель; клубни картофеля; автоматизированный модуль сепарации; оптическая система идентификации; техническое зрение; потери клубней; полнота сепарации

Для цитирования: Дорохов А.С., Ерохин М.Н., Сибирёв А.В., Мосяков М.А., Кынев Д.Н. Автоматизированный модуль сепарации клубней картофеля от почвенных примесей: разработка и исследование // Агроинженерия. 2026. Т. 28, № 4. С. 4-13. <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2026-4-4-13>

ORIGINAL ARTICLE

Automated module for the separation of potato tubers from soil impurities: designing and testing

A.S. Dorokhov¹, M.N. Erokhin², A.V. Sibirev³✉, M.A. Mosyakov⁴, D.N. Kynev⁵

^{1, 3, 4, 5} Federal Scientific Agricultural Engineering Center VIM; Moscow, Russia

² Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy; Moscow, Russia

¹ dorokhov.vim@yandex.ru; <https://orcid.org/0000-0002-4758-3843>

² er.mihn@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0001-6573-0950>

³ sibirev2011@yandex.ru✉; <https://orcid.org/0000-0002-9442-2276>

⁴ maks.mosyakov@yandex.ru; <https://orcid.org/0000-0002-5151-7312>

⁵ dnkynev@mail.ru

Abstract. Harvest quality is primarily determined by the ability to preserve marketable produce while minimizing soil and plant impurities. To address this challenge, the authors have designed and manufactured an automated separation module for potato harvesting that distinguishes tubers from soil clods using machine vision and pneumatic ejection. The module captures real-time images of moving biological objects, processes and classifies them via an integrated optical system, and removes impurities with compressed air jets. The system comprises a feeding conveyor with adjustable speeds ranging between 0.5 and 3.0 m/s, an optical identification unit with integrated illumination, and a machine vision subsystem. The latter includes a high-resolution camera (at least 5400 pixels) capable of operating in RGB+RGB or NIR+RGB spectral modes. Laboratory and field trials were conducted during the harvest of the Prime potato variety, with a yield of 236.0 cwt/ha and digging depth of up to 20 cm. The forward speed of the harvester ranged between 1.0 and 1.8 m/s, while the rod elevator web operated at 1.55-1.67 m/s. Results showed that increasing elevator speed from 1.0 to 1.8 m/s raised tuber damage from 1.2% to 1.9%, but improved separation completeness of the tuber-bearing heap from 94.5% to 98.8%. At an optimal working depth of 14.9 cm, all quality indicators remained within technical specifications: separation completeness reached 97.1%, tuber loss was 2.9%, and the tuber content in the heap amounted to 80.3%. The findings provide a foundation for further advancements in automated potato harvesting systems and support the development of recommendations for optimizing separation processes and enhancing product quality. Future research will focus on implementing advanced image processing and filtering methods, as well as machine learning algorithms, to improve recognition accuracy, reduce tuber losses, minimize mechanical damage, and boost the overall efficiency of harvesting equipment.

Keywords: combine harvester; potatoes; potato tubers; automated separation module; optical identification system; machine vision; tuber losses; separation completeness

For citation: Dorokhov A.S., Erokhin M.N., Sibirev A.V., Mosyakov M.A., Kynev D.N. Automated module for the separation of potato tubers from soil impurities: designing and testing. *Agricultural Engineering (Moscow)*. 2026;28(4):4-13. (In Russ.). <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2026-4-4-13>

Введение

Для развития отрасли картофелеводства посредством интенсивных и ресурсосберегающих технологий производства необходима разработка отечественных систем машин, в том числе с технологической поддержкой машинных комплексов с цифровым оборудованием. При этом необходима интерпретация полученной техническими средствами информации для изменения исходного состояния объекта воздействия и контроля качества выполнения определенной технологической операции.

Эффективность выполнения уборочной операции определяется сохранением товарной продукции с минимальным количеством почвенно-растительных примесей при закладке на хранение. Наличие почвенных примесей в клубненосном ворохе способствует провоцированию заболеваний хранимой продукции

и увеличению себестоимости ее производства. К тому же недостаточная степень очистки систем сепарации комбайна требует дополнительного применения ручного труда при закладке товарной продукции.

Полнота и качество сбора продукции и, соответственно, экономический эффект производства зависят от технологии уборки и конструктивного исполнения технических средств для ее осуществления [1, 2]. Существующие конструкции уборочных машин с различными системами подкапывания, сепарации и схемами очистки, отличающимися повышенной материалоемкостью и массой, в процессе уборки существенно уплотняют почвенный слой [3, 4].

Современные машины для уборки корнеплодов и клубней картофеля [5-7] отличаются в основном конструктивным исполнением сепарирующих рабочих органов (рис. 1).



Рис. 1. Типичные модели комбайнов для уборки корнеплодов:

а – картофелекопатель с системой очистки;

б – комбайн Grimme SE140 для уборки картофеля с системами очистки и выгрузки

Fig. 1. Typical configurations of three root crop harvester types:

(a) potato digger with cleaning system; (b) digging-and-shaking harvester with a separation unit

Конструкция отечественного комбайна для уборки картофеля [8, 9] отражает основные направления его совершенствования в части оптимизации показателей качества работы в основном за счет повышения материалоемкости основных функционирующих элементов: подкапывающих устройств [10, 11], систем первичной и вторичной сепарации. Однако данные технические решения не в полной мере обеспечивают снижение потери клубней и их повреждение [12-14]. Для устранения указанных недостатков необходимо разработать сепарирующий рабочий орган картофелеуборочного комбайна с элементами автоматизированного контроля и управления технологического процесса очистки товарного картофеля от различных по физико-механическому составу почвенных примесей. В связи с этим повышение качества выполнения технологического процесса уборки картофеля возможно при дальнейшей интеграции существующих методологий и решений, направленных на объединение передовых технологий, компьютерного зрения и алгоритмов искусственного интеллекта.

Цель исследований: разработать автоматизированный модуль сепарации картофелеуборочного комбайна для повышения качества очистки клубней картофеля от почвенных комков.

Материалы и методы

Разработанная лабораторная установка с автоматизированным модулем сепарации (рис. 2) позволяет идентифицировать разделяемые биологические объекты (клубни картофеля/комки почвы) в потоке поступательного движения.

Лабораторная установка представляет собой инспекционный стол 1 с бесконечной транспортной лентой 2, привод движения которой осуществляется от электродвигателя 3 с питанием от сети

переменного тока. Над рабочей поверхностью инспекционного стола 1 установлен блок оптической системы идентификации 4, состоящий из технического зрения и блока управления с системой подсвечивания разделяемых биологических объектов. Установка режима освещения на временной промежуток, а также порядок работы отсекающих 5, приводимых в действие от электроцилиндра 6, осуществляются с помощью программируемого микроконтроллера, установленного в шкафу управления 7. Отсекающие 5 обеспечивают направление разделяемых клубней картофеля/комков почвы в соответствующие лотки (на рисунке не показаны) после воздействия на них потоком сжатого воздуха из пневматической форсунки 8. Привод пневматических форсунок осуществляется от компрессора 9, который обеспечивает рабочее давление 8 бар и производительность 3650 л/мин.

Система технического зрения включает в себя камеру с разрешением не менее 5400 пикселей и режимами работы в диапазоне спектров RGB+RGB или NIR+RGB, установленную в защитном блоке над транспортером. Система освещения, используемая при разработке системы идентификации, включает в себя кварцевую вольфрамово-галогенную (QTH) лампу мощностью 150 Вт с широкополосным излучением от 400 до 2500 нм (спектральный диапазон VIS и NIR) в вариантах с вольфрамовым галогенным источником излучения HL-2000, помимо этого – лазерные диоды и модули. Вольфрамовый галогенный источник излучения HL-2000 является универсальным источником излучения, оптимизированным для видимого и ближнего ИК-диапазонов (360...2000 нм).

Картофелеуборочный комбайн с автоматизированным модулем сепарации и оптической системой идентификации (рис. 3) выполняет технологический процесс уборки при поступательном движении

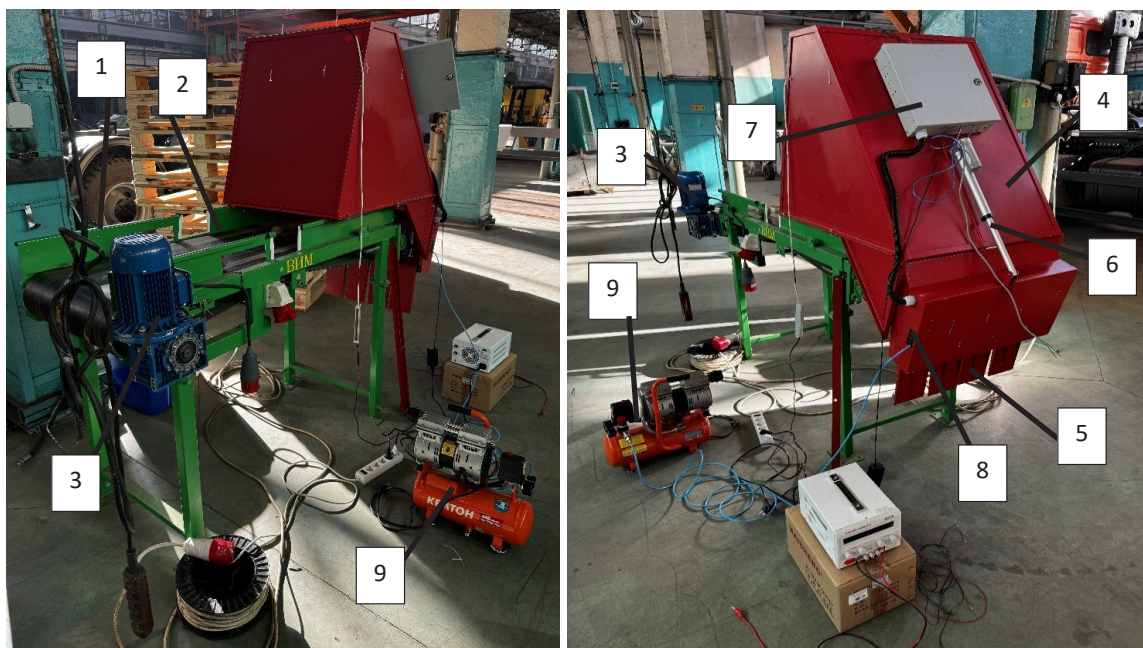


Рис. 2. Лабораторная установка по идентификации картофеля и почвенных примесей с автоматизированным модулем сепарации:

1 – стол инспекционный; 2 – лента транспортерная; 3 – электродвигатель; 4 – блок оптической системы идентификации; 5 – отсекатели; 6 – электроцилиндр; 7 – шкаф управления; 8 – пневматическая форсунка; 9 – компрессор

Fig. 2. Laboratory unit for identifying potato tubers and soil impurities with an automated separation module:

1 – inspection table; 2 – conveyor belt; 3 – electric motor; 4 – optical identification system unit; 5 – shut-off valves; 6 – electric cylinder; 7 – control cabinet; 8 – pneumatic nozzle; 9 – compressor

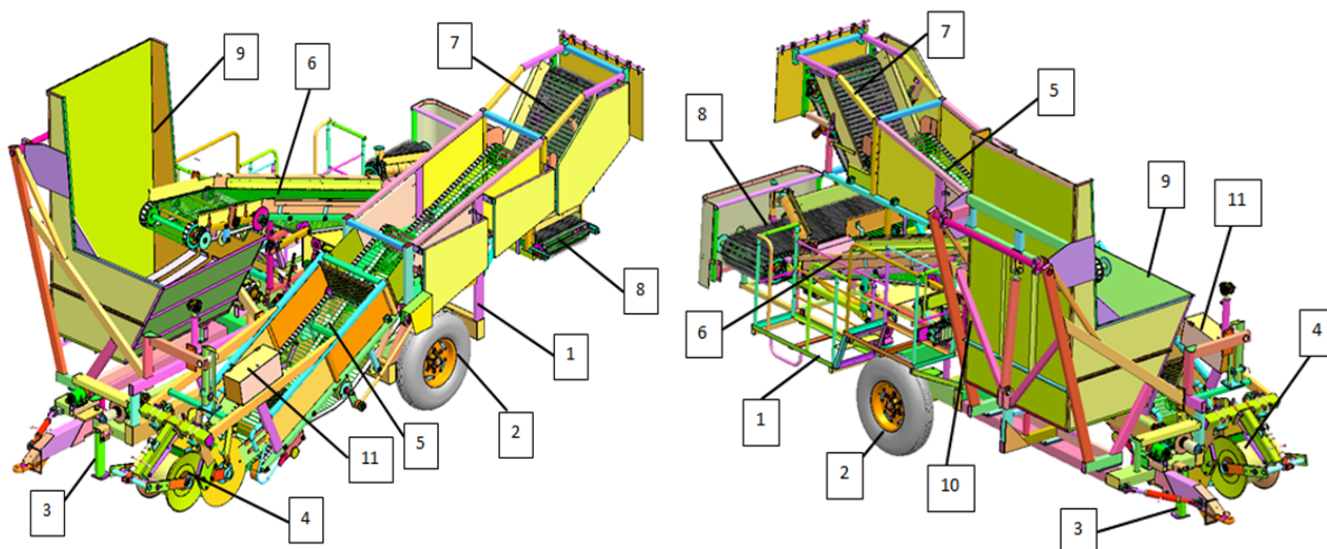


Рис. 3. 3D-модель комбайна для уборки картофеля с автоматизированным модулем сепарации картофеля от почвенных примесей:

1 – рама; 2 – колеса опорные; 3 – опора стояночная; 4 – секция подкапывающая; 5 – приемный элеватор; 6 – основной элеватор; 7 – игольчатый транспортер; 8 – транспортер поперечный; 9 – бункер приемный; 10 – система гидравлическая; 11 – модуль оптической системы идентификации

Fig. 3. 3D model of a potato harvester with an automated module for separating potatoes from soil impurities:

1 – frame; 2 – support wheels; 3 – parking support; 4 – digging section; 5 – intake elevator; 6 – main elevator; 7 – pin slide; 8 – transverse conveyor; 9 – intake hopper; 10 – hydraulic system; 11 – optical identification system module

в пределах одной борозды. Подкапывающая секция 4, установленная на рамную конструкцию 1 комбайна, извлекает клубненосное гнездо, далее направляет его

на приемный 5 и основной 6 элеваторы для последовательной очистки и идентификации проходящего вороха оптической системой 11. Управляющий

сигнал передается на автоматизированный модуль сепарации (не показан на рисунке) для отбраковки клубней картофеля от комков почвы. Вторичная система сепарации комбайна представлена игольчатым транспортером 7, который очищает клубни картофеля от мелких механических примесей. Далее товарная продукция транспортируется на поперечный транспортер 8 с последующим укладыванием клубней картофеля в приемный бункер 9, подъем в рабочее положение которого осуществляется приводом от гидравлической системы 10.

Для проверки функционирования автоматизированного модуля сепарации с идентификацией картофеля и почвенных комков проведены экспериментальные исследования в производственных условиях по установлению оптимальных параметров работы разрабатываемой сепарирующей системы картофелеуборочного комбайна.

Экспериментальные исследования автоматизированного модуля сепарации картофелеуборочного комбайна в агрегате с трактором МТЗ-82.1 проводили на полях с. Подвьязь Рязанской области при уборке сорта картофеля Прайм с урожайностью 236,0 ц/га с учетом варьирования исследуемых факторов в пределах: поступательная скорость движения машины для уборки картофеля $v_k = 1,0 \dots 1,8$ м/с; поступательная скорость движения полотна пруткового элеватора $v_{эл} = 1,55 \dots 1,67$ м/с.

Условия испытаний характеризовались как засушливые. Влажность почвы в 25-сантиметровом слое не превышала 14,4% и была значительно ниже требуемых по ТЗ (18...26%). Твердость почвы при этом составляла

1,8...4,5 МПа и превышала требования ТЗ (не более 2,5 МПа). При проведении исследований использовали приборы и оборудование, представленные в таблице.

Автоматизированный модуль сепарации (рис. 4) является частью комбайна для уборки картофеля с оптической системой идентификации биологических объектов (клубней картофеля и комков почвы) (рис. 5).

Технологический процесс очистки клубней картофеля от почвенных комков картофелеуборочным комбайном с автоматизированным модулем сепарации осуществляется следующим образом. Клубневое гнездо картофеля, извлеченное из почвы подкапывающим устройством (на рисунке не показано), по приемному транспортеру 1 поступает через систему сепарирующих поверхностей комбайна (основной элеватор, игольчатый транспортер, поперечный транспортер) (рис. 3) и направляется в бункер 6 товарной продукции, проходя последовательно через блок оптической системы идентификации 3 при фиксировании системой технического зрения клубней картофеля и комков почвы с последующей передачей управляющего сигнала через микроконтроллер на пневматические форсунки 7, осуществляющие привод отсекающих устройств 4, которые обеспечивают направление комков почвы в бункер 5, а клубней картофеля – в бункер 6. После заполнения бункера 5 почвенными комками и примесями его извлекают из рабочего пространства бункера 6 и выгружают.

Оптическая система идентификации (рис. 5) устанавливается с возможностью перемещения над поверхностью транспортерно-сортировочного адаптера.

Приборы и оборудование при проведении лабораторно-полевых исследований комбайна для уборки картофеля с автоматизированным модулем сепарации

Таблица

Instruments and equipment used in laboratory and field studies of the potato harvester with an automated separation module

Table

Характеристика, параметр	Марка оборудования или прибора, его номер, ГОСТ
Конструктивные параметры машины (габаритные размеры, дорожный просвет)	Рулетка измерительная металлическая, Р20УЗК, № 1, ГОСТ 7502-98
Скорость движения агрегата	Секундомер СОСпр-26-2, № 8387, ГОСТ 5072-79; мерный циркуль, № 2
Рельеф поля (уклон)	Нивелир оптический RGK C-20, № W1785846
Твердость почвы	Твердомер Ревякина, № 224
Влажность почвы	Весы неавтоматического действия DL-612, № 200310411; сушильный шкаф СШ-3
Урожайность Полнота выкапывания Потери, состав вороха Повреждение клубней	Весы медицинские ВМ-20, № 9552
Ширина междурядий, характеристика гнезда	Линейка, 0-750 мм, № 470

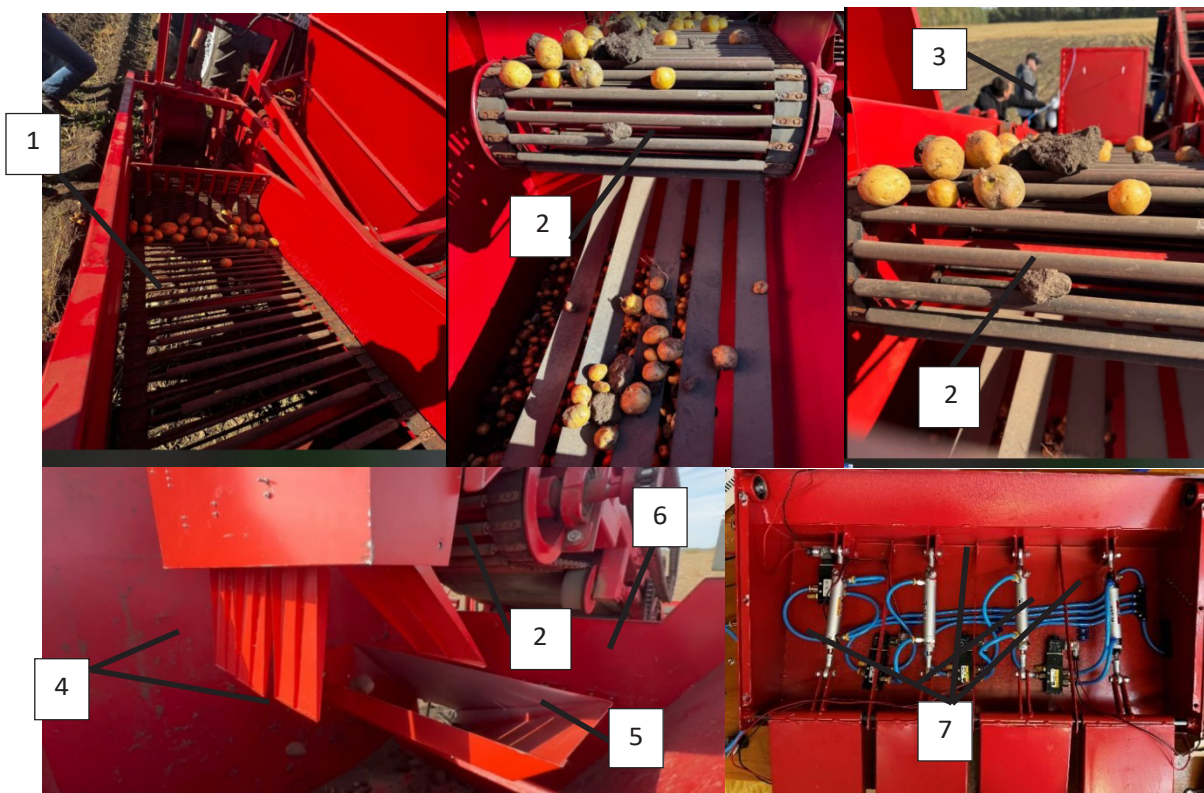
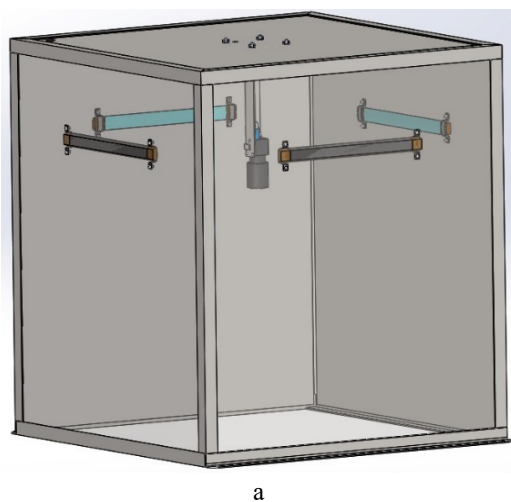


Рис. 4. Автоматизированный модуль сепарации картофеля:

1 – приемный транспортер; 2 – поперечный транспортер; 3 – блок оптической системы идентификации; 4 – отсекатели; 5 – бункер для примесей; 6 – бункер товарной продукции; 7 – форсунки пневматические

Fig. 4. Automated potato separation module:

1 – intake conveyor; 2 – transverse conveyor; 3 – optical identification system unit; 4 – separators (shut-off units); 5 – hopper for impurities; 6 – hopper for marketable products; 7 – pneumatic nozzles



а



б

Рис. 5. Защитный блок оптической системы идентификации:

а – 3D-модель защитного блока; б – общий вид защитного блока

Fig. 5. Protective unit of the optical identification system:

а – 3D model of the protective unit; б – general view of the protective unit

Результаты и их обсуждение

Оптическая система идентификации обеспечивает получение изображений движущихся биологических объектов (клубень картофеля и комок почвы), распознавание и обработку полученных

изображений (рис. 6), опорожнение транспортера с фракциями «Клубень картофеля» и «Комок почвы».

Анализ качественных показателей уборки (полнота сепарации и повреждение клубней картофеля) в зависимости от поступательной $v_{эл}$ скорости

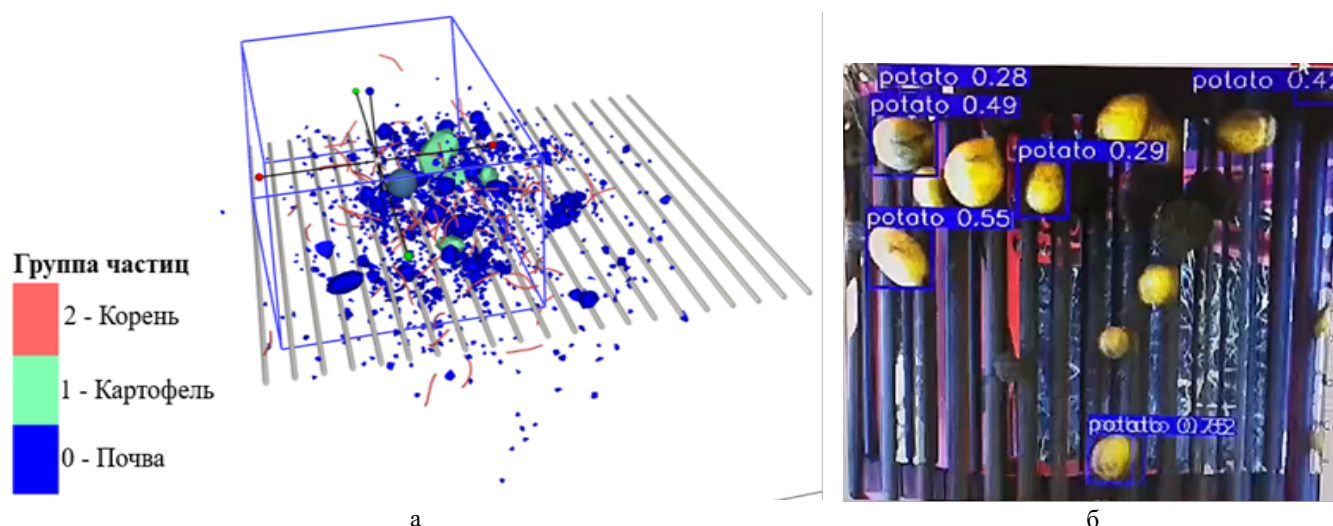


Рис. 6. Распознавание клубней картофеля:

а – моделирование процесса сепарации клубней картофеля и комков почвы; б – фрагмент изображения

Fig. 6. Potato tuber recognition:

а – simulation of tuber and soil clod separation; б – image fragment

движения пруткового элеватора показывает, что полнота сепарации и повреждение клубней возрастают с увеличением исследуемого технологического параметра (рис. 7).

Графические зависимости (рис. 7) свидетельствуют о качественном выполнении технологического процесса работы комбайна с автоматизированным модулем сепарации при исследовании поступательной скорости движения пруткового элеватора и глубине хода подкапывающих рабочих органов до 20 см.

Повышение поступательной скорости движения пруткового элеватора в интервале от 1,0 до 1,8 м/с приводит к увеличению повреждений клубней картофеля (П) от 1,2 до 1,9%, что обусловлено повышением ударных нагрузок на клубни и снижением почвенной прослойки при перемещении клубней картофеля по рабочей поверхности транспортера.

Полнота сепарации клубненосного вороха (v) в интервале исследуемых скоростей увеличивается прямо пропорционально величине повреждений клубней картофеля (П) в корреляционной прямолинейной зависимости от 94,5 до 98,8%, что выражается аналитической зависимостью:

$$\begin{cases} v = 2,8409 \ln v_{\text{эл}} + 94,18; \\ \text{П} = 2,8409 \ln v_{\text{эл}} + 1,1487. \end{cases} \quad (1)$$

Анализ системы выражений (1) свидетельствует о корреляционной зависимости между исследуемым технологическим параметром картофелеуборочного комбайна и качественными показателями уборки – полнотой сепарации и повреждением клубней.

Выводы

1. Разработанная оптическая система идентификации биологических объектов сочетает модуль подачи, оптическую систему идентификации с системой подсвечивания. Модуль подачи продукции представляет собой конвейер с регулируемой скоростью подачи от 0,5 до 3,0 м/с. Оптическая система идентификации, имеющая возможность перемещаться над поверхностью транспортерно-сортировочного адаптера, включает в себя техническое зрение и блок управления с системой подсвечивания биологических объектов. Система технического зрения, установленная в защитном блоке над транспортером, предусматривает наличие камеры с разрешением не менее 5400 пикселей и режимами работы в диапазоне спектров RGB+RGB или NIR+RGB.

2. Экспериментальные исследования автоматизированного модуля сепарации картофелеуборочного комбайна показали, что с ростом поступательной скорости движения пруткового элеватора в интервале от 1,0 до 1,8 м/с увеличиваются повреждение клубней картофеля от 1,2 до 1,9% и полнота сепарации клубненосного вороха от 94,5 до 98,8%.

3. Внедрение дополнительных методов обработки и фильтрации изображений, применение машинного обучения для улучшения точности распознавания и разделения объектов позволят снизить потери клубней, уменьшить повреждаемость и повысить общую эффективность уборочной техники.

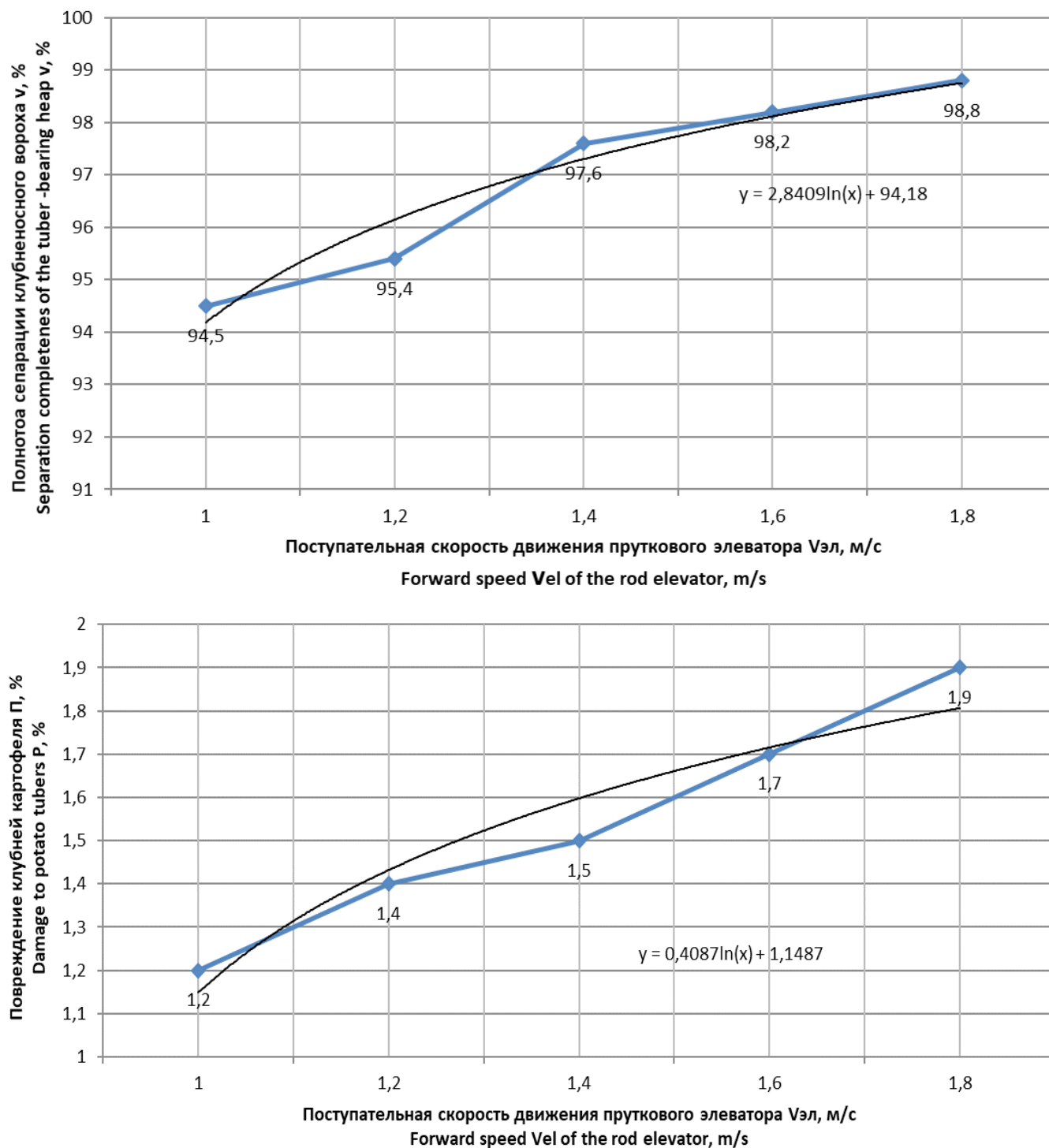


Рис. 7. Зависимость полноты сепарации v , %, и повреждений клубней картофеля P , %, от поступательной $v_{эл}$ скорости движения пруткового элеватора

Fig. 7. Relationship between the separation completeness v (%), tuber damage P (%), and the forward speed $v_{эл}$ of the rod elevator

Список источников

1. Петухов С.Н. Состояние технического и технологического обеспечения селекции и оригинального семеноводства картофеля // Агротехника и энергообеспечение. 2018. № 4. С. 76-84. EDN: YVECCT
2. Лобачевский Я.П., Ценч Ю.С. Принципы формирования систем машин и технологий для комплексной механизации и автоматизации технологических процессов в растениеводстве

References

1. Petukhov S.N. The state of technical and technological support of potato breeding and original seed production. *Agrotekhnika i energoobespechenie supply*. 2018;4:76-84. (In Russ.)
2. Lobachevskiy Ya.P., Tsench Yu.S. Principles of forming machine and technology systems for integrated mechanization and automation of technological processes in crop production. *Agri-*

// Сельскохозяйственные машины и технологии. 2022. Т. 16, № 4. С. 4-12. <https://doi.org/10.22314/2073-7599-2022-16-4-4-12>

3. Лобачевский Я.П., Дорохов А.С. Цифровые технологии и роботизированные технические средства для сельского хозяйства // Сельскохозяйственные машины и технологии. 2021. Т. 15, № 4. С. 6-10. <https://doi.org/10.22314/2073-7599-2021-15-4-6-10>

4. Лобачевский Я.П., Бейлис В.М., Ценч Ю.С. Аспекты цифровизации системы технологий и машин // Электротехнологии и электрооборудование в АПК. 2019. № 3. С. 40-45. EDN: RLCDHO

5. Казаков С.С., Живаев О.В., Никулин А.В. Конструкционные пути снижения повреждаемости клубней посадочного картофеля при работе цепочно-ложечного высаживающего аппарата // Тракторы и сельхозмашины. 2019. № 3. С. 29-34. EDN: ARTNCV

6. Abd El-Rahman M.M.A. Development and performance evaluation of a simple grading machine suitable for onion sets. *Journal of Soil Sciences and Agricultural Engineering*. 2011;2(2):213-226.

7. Dandekar I., Joshi A., Patil V. A review paper based on design and development of an onion harvesting machine. *Journal of Information and Computational Science*. 2020;9(12):333-337.

8. Jothi Shanmugam C., Senthilkumar G. Indigenous development of low cost harvesting machine. *ARPJ Journal of Engineering and Applied Sciences*. 2017;12:4489-4490.

9. Bachche S. Deliberation on design strategies of automatic harvesting systems: A survey. *Robotics*. 2015;4(2):194-222.

10. Cao T., Wang Y., Chen J. Analysis and simulation of potato combine harvesting machine. Communications, Signal Processing, and Systems. *Lecture Notes in Electrical Engineering*. 2022;879:556-563. https://doi.org/10.1007/978-981-19-0386-1_70

11. Ахалая Б.Х., Ценч Ю.С. Комбинированный агрегат для обработки почвы импульсным воздействием ударной волны // Сельскохозяйственные машины и технологии. 2023. Т. 17, № 4. С. 62-67. <https://doi.org/10.22314/2073-7599-2023-17-4-62-67>

12. Zhang Z.J., Jia H.L., Sun J.Y. Review of application of biomimetics for designing soil-engaging tillage implements in Northeast China. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*. 2016;9(4):12-21. URL: <https://ijabe.org/index.php/ijabe/article/view/1437> (дата обращения: 20.04.2026)

13. Альт В.В., Исакова С.П. Планирование работ при возделывании зерновых культур: программные компоненты // Сельскохозяйственные машины и технологии. 2023. Т. 17, № 4. С. 12-18. <https://doi.org/10.22314/2073-7599-2023-17-4-12-18>

14. Дорохов А.С., Сибирёв А.В., Мосяков М.А. и др. Концептуальные основы создания автоматизированного комбайна для уборки картофеля с цифровой системой идентификации почвенных комков и их отделения от товарной продукции // Вестник российской сельскохозяйственной науки. 2023. № 5. С. 98-104. <https://doi.org/10.31857/2500-2082/2023/5/98-104>

15. Дорохов А.С., Сибирёв А.В., Аксенов А.Г., Мосяков М.А. Метод комплексной оценки качества выполнения технологических операций энергоресурсосберегающей технологии уборки корнеплодов и картофеля // Агроинженерия. 2022. Т. 24, № 1. С. 12-16. <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2022-1-12-16>

16. Дорохов А.С., Сибирёв А.В., Аксенов А.Г., Мосяков М.А. Экспериментальные исследования по разработке автоматизированной системы регулирования плотности почвы посевной машины // Агроинженерия. 2021. № 2. С. 9-15. <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2021-2-9-15>

17. Jia B., Sun W., Zhao Z. et al. Design and field test of a remotely controlled self-propelled potato harvester with

cultural Machinery and Technologies. 2022;16(4):4-12. (In Russ.) <https://doi.org/10.22314/2073-7599-2022-16-4-4-12>

3. Lobachevskiy Ya.P., Dorokhov A.S. Digital technologies and robotic devices in the agriculture. *Agricultural Machinery and Technologies*. 2021;15(4):6-10. (In Russ.) <https://doi.org/10.22314/2073-7599-2021-15-4-6-10>

4. Lobachevsky Ya.P., Bylis V.M., Tsench Yu.S. Digitalization aspects of the system of technologies and machines. *Electrical Engineering and Electrical Equipment in Agriculture*. 2019;3:40-45. (In Russ.)

5. Kazakov S.S., Zhivaev O.V., Nikulin A.V. Structural ways to reduce the damage of planting potatoes bulbs when using a chain-spoon planting machine. *Tractors and Agricultural Machinery*. 2019;3:29-34. (In Russ.)

6. Abd El-Rahman M.M.A. Development and performance evaluation of a simple grading machine suitable for onion sets. *Journal of Soil Sciences and Agricultural Engineering*. 2011;2(2):213-226.

7. Dandekar I., Joshi A., Patil V. A review paper based on the design and development of an onion harvesting machine. *Journal of Information and Computational Science*. 2020;9(12):333-337.

8. Jothi Shanmugam C., Senthilkumar G. Indigenous development of low cost harvesting machine. *ARPJ Journal of Engineering and Applied Sciences*. 2017;12:4489-4490.

9. Bachche S. Deliberation on design strategies of automatic harvesting systems: A survey. *Robotics*. 2015;4(2):194-222. (In Russ.)

10. Cao T., Wang Y., Chen J. Analysis and simulation of potato combine harvesting machine. Communications, Signal Processing, and Systems. *Lecture Notes in Electrical Engineering*. 2022;879:556-563.

11. Akhalaya B.Kh., Tsench Yu.S. Combined unit for tillage with pulsed shock wave action. *Agricultural Machinery and Technologies*. 2023;17(4):62-67. (In Russ.) <https://doi.org/10.22314/2073-7599-2023-17-4-62-67>

12. Zhang Z.J., Jia H.L., Sun J.Y. Review of application of biomimetics for designing soil-engaging tillage implements in Northeast China. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*. 2016;9(4):12-21. (In Russ.)

13. Alt V.V., Isakova S.P. Optimizing work planning for grain crop cultivation: software components. *Agricultural Machinery and Technologies*. 2023;17(4):12-18. (In Russ.) <https://doi.org/10.22314/2073-7599-2023-17-4-12-18>

14. Dorokhov A.S., Sibirev A.V., Mosyakov M.A., et al. Conceptual frameworks for creating an automated potato harvester with a digital system for identifying soil lumps and separating them from commercial potato products. *Vestnik of the Russian Agricultural Science*. 2023;5:98-104. <https://doi.org/10.31857/2500-2082/2023/5/98-104>

15. Dorokhov A.S., Sibiryov A.V., Aksekov A.G., Mosyakov M.A. Comprehensive assessment of the technological performance quality of energy-and-resource-saving technology of root and potato harvesting. *Agricultural Engineering (Moscow)*. 2022;24(1):12-16. (In Russ.) <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2022-1-12-16>

16. Dorokhov A.S., Sibiryov A.V., Aksekov A.G., Mosyakov M.A. Experimental studies on the development of an automated system for regulating the soil density used in a seeding machine. *Agricultural Engineering*. 2021;2:9-15. (In Russ.) <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2021-2-9-15>

17. Jia B., Sun W., Zhao Z. et al. Design and field test of a remotely controlled self-propelled potato harvester with manual sorting platform. *American Journal of Potato Research*. 2023;100:193-209. <https://doi.org/10.1007/s12230-023-09909-3>

manual sorting platform. *American Journal of Potato Research*. 2023;100:193-209. <https://doi.org/10.1007/s12230-023-09909-3>

18. Ценч Ю.С., Годлевская Е.В. Математическое моделирование как инструмент проектирования сельскохозяйственных машин и агрегатов (применительно к истории развития научной школы Южного Урала) // Сельскохозяйственные машины и технологии. 2023. Т. 17, № 2. С. 4-12. <https://doi.org/10.22314/2073-7599-2023-17-2-4-12>

19. Ракутько С.А., Ракутько Е.Н., Медведев Г.В. Разработка экспериментального фитотрона и его применение в исследованиях по энергоэкологии светокультуры // Сельскохозяйственные машины и технологии. 2023. Т. 17, № 2. С. 40-48. <https://doi.org/10.22314/2073-7599-2023-17-2-40-48>

Информация об авторах

¹Дорохов Алексей Семёнович, академик РАН, д-р техн. наук, профессор, главный научный сотрудник; dorokhov.vim@yandex.ru; <https://orcid.org/0000-0002-4758-3843>; SPIN-код: 6711-8971

²Ерохин Михаил Никитиевич, академик РАН, д-р техн. наук, профессор; n.erohin@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0001-6573-0950>; SPIN-код: 3499-4405

³Сибирёв Алексей Викторович, д-р техн. наук, главный научный сотрудник; sibirev2011@yandex.ru; <https://orcid.org/0000-0002-9442-2276>; SPIN-код: 1726-5356

⁴Мосяков Максим Александрович, канд. техн. наук, ведущий научный сотрудник; maks.mosyakov@yandex.ru; <https://orcid.org/0000-0002-5151-7312>; SPIN-код: 3196-9443

⁵Кынев Дмитрий Николаевич, младший научный сотрудник, аспирант; dnkynev@mail.ru; SPIN-код: 7681-9750

^{1, 3, 4, 5} Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ; 109428, Российская Федерация, г. Москва, 1-й Институтский проезд, 5

²Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; 127434, Российская Федерация, г. Москва, Тимирязевская ул., 49

Вклад авторов

А.С. Дорохов – формулирование основной концепции исследований;

М.Н. Ерохин – разработка методологии исследований;

А.В. Сибирёв – описание результатов и формирование выводов исследований, подготовка начального варианта текста;

М.А. Мосяков – представление результатов, подготовка графических материалов;

Д.А. Кынев – программная реализация алгоритма.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов и несут ответственность за плагиат

Статья поступила 14.02.2026, после рецензирования и доработки 23.06.2026, принята к публикации 03.07.2026

18. Tsench Yu.S., Godlevskaya E.V. Mathematical modeling as a aspect for designing agricultural machines and units (development history of southern urals scientific school). *Agricultural Machinery and Technologies*. 2023;17(2):4-12. (In Russ.) <https://doi.org/10.22314/2073-7599-2023-17-2-4-12>

19. Rakutko S.A., Rakutko E.N., Medvedev G.V. Development of an experimental phytotron and its application in the research on the energy-ecological efficiency of indoor plant lighting. *Agricultural Machinery and Technologies*. 2023;17(2):40-48. (In Russ.) <https://doi.org/10.22314/2073-7599-2023-17-2-40-48>

Author Information

Aleksei S. Dorokhov¹, Full Member of the Russian Academy of Sciences, DSc (Eng), Professor; dorokhov.vim@yandex.ru; <https://orcid.org/0000-0002-4758-3843>; Scopus Author ID: 57218106496

Mikhail N. Erokhin², Full Member of the Russian Academy of Sciences, DSc (Eng), Professor; er.mih@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0001-6573-0950>; Scopus Author ID: 57209270588

Alexei V. Sibirev³, DSc (Eng), Chief Research Engineer; sibirev2011@yandex.ru; <https://orcid.org/0000-0002-9442-2276>; Scopus Author ID: 57204101596

Maksim A. Mosyakov⁴, CSc (Eng), Lead Research Engineer, maks.mosyakov@yandex.ru; <https://orcid.org/0000-0002-5151-7312>; Scopus Author ID: 57204930522

Dmitriy N. Kynev⁵, Junior Research Engineer, postgraduate student; dnkynev@mail.ru

^{1, 3, 4, 5} Federal Scientific Agroengineering Center VIM; 109428, Russia, Moscow, 1st Institutsky Proezd Str., 5

² Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy; 127434, Russian Federation, Moscow, Timiryazevskaya Str., 49

Author Contribution

A.S. Dorokhov – conceptualization;

M.N. Erokhin – methodology;

A.V. Sibirev – data curation; validation; writing – original draft;

M.A. Mosyakov – formal analysis; validation; visualization;

D.A. Kynev – software.

Conflict of interests

The authors declare no conflict of interests regarding the publication of this article and are responsible for plagiarism

Received 14.02.2026; Revised 23.06.2026; Accepted 03.07.2026