



Влияние электрофизического воздействия на сроки хранения картофеля и овощных культур

Алексей Семенович Дорохов,
доктор технических наук, профессор,
академик РАН, главный научный сотрудник,
e-mail: dorokhov.vim@yandex.ru;
Алексей Викторович Сибирев,
доктор технических наук,
главный научный сотрудник,
e-mail: sibirev2011@yandex.ru;

Андрей Григорьевич Пономарев,
кандидат технических наук,
ведущий научный сотрудник,
e-mail: agrodisel@mail.ru;
Сергей Николаевич Петухов,
кандидат сельскохозяйственных наук,
ведущий научный сотрудник,
e-mail: petuxov61@bk.ru

Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ, Москва, Российская Федерация

Реферат. Посевной и посадочный материал с целью исключения прогрессирования различных инфекционных заболеваний необходимо подвергнуть обработке ультрафиолетовым излучением с интенсивностью 10-15 килоджоулей. Для этого необходимо изучить влияние ультрафиолетового излучения на продукцию при ее движении в потоке по ленточному транспортеру. (*Цель исследования*) Обоснование возможности применения ультрафиолетового излучения для улучшения показателей хранения овощных культур и картофеля, а также технологических параметров в лабораторно-производственных условиях, обеспечивающих снижение их перезаражения. (*Материалы и методы*) Для определения оптимальных технологических параметров машины для закладки овощных культур и картофеля на хранение в системе послеуборочной доработки создана экспериментальная установка и исследовано электрофизическое воздействие на показатели качества хранения. Для исследования выбраны наиболее распространенные для возделывания в различных почвенно-климатических условиях Российской Федерации сорта картофеля Леди Розетта, моркови столовой Витаминная 6 и свеклы столовой Бордо 237. (*Результаты и обсуждение*) Разработана методика оценки качества семенного материала после периода хранения с обоснованием временного интервала, температурных параметров воздушной смеси и оптических режимов ультрафиолетового излучения. Определены оптимальные параметры обработки клубней картофеля, корнеплодов моркови и свеклы. Изучено влияние на корнеплоды моркови и свеклы ультрафиолетового воздействия с установленными параметрами на степень развития заболеваний, вызываемых исследуемыми фитопатогенными микроорганизмами при температуре 2 и 25 градусов Цельсия. (*Выводы*) При поступательной скорости движения корнеплодов 0,7 метра в секунду, межосевом расстоянии между источниками ультрафиолетового излучения 0,1 метра, расстоянии от них до роликовой поверхности ленточного транспортера 0,05 метра и при постоянной дозе ультрафиолетового воздействия показатели распространения и развития инфекционного заболевания исследованных овощных культур имеют положительную динамику снижения.
Ключевые слова: овощные культуры, картофель, исследования, испытания, ультрафиолетовое воздействие, лабораторная установка, хранение.

■ **Для цитирования:** Дорохов А.С., Сибирев А.В., Пономарев А.Г., Петухов С.Н. Влияние электрофизического воздействия на сроки хранения картофеля и овощных культур // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2024. Т. 18. №2. С. 20-26. DOI: 10.22314/2073-7599-2024-18-2-20-26. EDN: HAONIA.

Scientific article

Effect of Electrophysical Treatment on the Storage Life of Potatoes and other Vegetable Crops

Aleksey S. Dorokhov,
Dr.Sc.(Eng.), professor, member of the Russian Academy
of Sciences, chief researcher,
e-mail: dorokhov.vim@yandex.ru;
Aleksey V. Sibirev,
Dr.Sc.(Eng.), chief researcher,
e-mail: sibirev2011@yandex.ru;

Andrey G. Ponomarev,
Ph.D.(Eng.), leading researcher,
e-mail: agrodisel@mail.ru;
Sergey N. Petukhov,
Ph.D.(Agri.), leading researcher,
e-mail: petuxov61@bk.ru

Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow, Russian Federation

Abstract. To prevent the progression of various infectious diseases, seed and planting material must undergo treatment with ultraviolet (UV) radiation at an intensity of 10-15 kilojoules. This necessitates studying the impact of UV radiation on products as they move in a flow along a conveyor belt. (*Research purpose*) The study aims to evaluate the feasibility of using ultraviolet radiation to improve the storage indicators of potato and other vegetable crops. It also assesses the technological parameters in both laboratory and production settings to ensure a reduction in contamination. (*Materials and methods*) To determine the optimal technological parameters of a machine for processing vegetable crops and potatoes before storage in the post-harvest processing system, an experimental installation was created and the electrophysical effects on storage quality indicators were examined. For the study, the most common vegetable crop varieties were selected, in particular, Lady Rosetta potato, Vitaminnaya-6 table carrot and Bordeaux 237 table beet. These crops are cultivated under various soil and climatic conditions across the Russian Federation. (*Results and discussion*) A methodology has been developed to assess the quality of seed material after the storage period, including the justification for the time interval, air mixture temperature parameters and ultraviolet radiation optical modes. The optimal parameters for processing potato tubers, carrots, and beets have been determined. The study examined the impact of ultraviolet exposure with established parameters on the disease development in carrot and beet crops, caused by the studied phytopathogenic microorganisms at temperatures of 2 and 25 degrees Celsius. (*Conclusions*) The indicators of the spread and development of infectious diseases in the studied vegetable crops show a decline trend when the translational speed of root crop movement is 0.7 meters per second, the interaxial distance between ultraviolet radiation sources is 0.1 meters, the distance from the sources to the roller surface of the conveyor belt is 0.05 meters, and a constant dose of ultraviolet exposure is applied.

Keywords: vegetable crops, potatoes, research, testing, ultraviolet exposure, laboratory installation, storage.

■ For citation: Dorokhov A.S., Sibirev A.V., Ponomarev A.G., Petukhov S.N. Effect of electrophysical treatments on the storage life of potatoes and other vegetable crops. *Agricultural Machinery and Technologies*. 2024. Vol. 18. N2. 20-26 (In Russian). DOI: 10.22314/2073-7599-2024-18-2-20-26. EDN: HAONIA.

Корнеплоды с целью предотвращения поражения болезнями перед закладкой на хранение необходимо сортировать. Для защиты от увядания, подмораживания, механических повреждений, контактной и воздушной инфекции используются методы переслойки, глинования корнеплодов, применяют полимерную пленку, бумажные мешки, покрывают мелом или обрабатывают антисептиками. Непременными условиями являются строгое соблюдение температурно-влажностного режима и проведение санитарных мероприятий в хранилищах [1].

Длительность хранения корнеплодов зависит от их сорта, системы защиты от вредителей и болезней, сроков и способов уборки [2], товарной обработки и подготовки к закладке [3]. Высокое содержание влаги – определяющий фактор эффективной организации хранения [4]. Основные причины потерь при хранении овощей связаны с процессами дыхания, испарения влаги и микробиологической порчи [5].

Механизмы и эффекты обработки электромагнитными полями биологических объектов, в том числе поверхностной микрофлоры корнеплодов, изучены не в полной мере [6, 7]. В связи с этим актуально исследование электрофизического воздействия на фитопатогенные микроорганизмы, вызывающие порчу закладываемого на хранение материала (Дорохов А.С., Сазонов Н.В., Сибирев А.В. и др. Теоретические и экспериментальные исследования линии для послеуборочной обработки клуб-

ней картофеля с применением оптической системы сортирования. М.: Цифровичок, 2023. 143 с.). Современные достижения в области хранения овощей и фруктов важны с позиции не только снабжения населения свежей плодоовощной продукцией, как необходимого компонента здорового образа жизни, но и результата коммерческой деятельности (Измайлов А.Ю., Гришин А.А., Гришин А.П., Лобачевский Я.П. Экспертные системы интеллектуальной автоматизации технических средств сельскохозяйственного назначения. Инновационное развитие АПК России на базе интеллектуальных машинных технологий. Москва, 2014. С. 379-382). Оптимальные условия позволяют повысить хранимоспособность плодов, овощей и клубней, и наоборот, нарушение режима хранения может привести к полной потере продукции [8].

Цель исследования – обоснование возможности применения ультрафиолетового излучения, а также определение технологических параметров в лабораторно-производственных условиях, обеспечивающих повышение качества хранения и снижение перезаражения семян овощных культур и картофеля.

Материалы и методы. Для обеспечения возможности применения ультрафиолетового излучения необходимо установить средства электрофизического воздействия в поточную линию послеуборочной обработки продукции при последующем хранении (Измайлов А.Ю., Лобачевский Я.П., Бейлис В.М., Ценч Ю.С. Инновационная система машинно-технологического обеспечения предприятий агропро-

мышленного комплекса. Ч.1. Инновационная система машинно-технологического обеспечения сельскохозяйственных предприятий на длительную перспективу. М.: ВИМ, 2019. 228 с.). С целью равномерного УФ-воздействия на поверхность биологических объектов в конструкции системы рассмотрены варианты расположения осветительных источников:

- с точечным источником УФ-воздействия; данное расположение не подходит для решения задачи идентификации болезней из-за неровностей поверхности плода/клубня (рис. 1а);
- с рассеянным светом и множеством источников УФ-воздействия (рис. 1б).

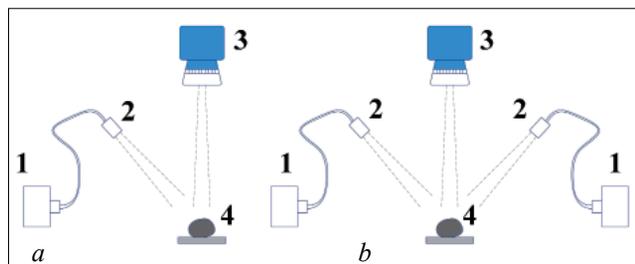


Рис. 1. Схема установок по детектированию изображения с точечным светом (а) и с диффузным освещением (б): 1 – источник рассеянного света; 2 – адаптер рассеянного света; 3 – источник УФ-воздействия; 4 – биологический образец

Fig. 1. Installation diagrams for image detection with point light (a) and diffuse illumination (b): 1 – source of diffused light; 2 – diffused light adapter; 3 – source of ultraviolet (UV) exposure; 4 – biological sample

Клубни картофеля/плоды яблок устойчиво будут перемещаться по рабочей поверхности транспортера при условии [9], что показатель кинематического режима

$$\lambda = \omega_2 / \omega_1, \quad (1)$$

где ω_1, ω_2 – угловая скорость последовательно установленных роликов, c^{-1} .

Для устойчивой работы оптической системы идентификации с ориентирующим модулем необходимо [10], чтобы минимально допустимый показатель кинематического режима был больше коэффициента трения:

$$\lambda = \omega_2 / g \geq f, \quad (2)$$

где f – коэффициент трения клубня/плода о поверхность ролика.

Минимально допустимая угловая скорость роликовой поверхности:

$$\omega_{\min} = f \cdot g / R. \quad (3)$$

Частота вращения корнеплодов вокруг своей оси

$$\omega_K = 2v_{\text{Об}} \cdot t / D_P^2 = \lambda / T, \quad (4)$$

где t – шаг витка ролика, м; $v_{\text{Об}}$ – поступательная скорость движения клубня/плода, м/с; D_P – диаметр ролика, м.

Согласно выражению (4)

$$v_{\text{Об}} = \omega_K \cdot D_P^2 / 2t. \quad (5)$$

Для определения оптимальных технологических параметров машины для закладки овощных культур и картофеля на хранение разработана экспериментальная установка с ориентирующим модулем [11]. Исследовано влияние электрофизического воздействия на хранение овощных культур и картофеля.

Рабочая поверхность установки выполнена в виде роликов 1 с высотой подъема навивки (рис. 2). Над роликами на опорных стойках 2 с помощью болтового соединения 3 установлен защитный экран 4 с источниками УФ-воздействия газоразрядными лампами 6, закрепленными на подвесе 5. Защитный экран перемещается в вертикальной плоскости.

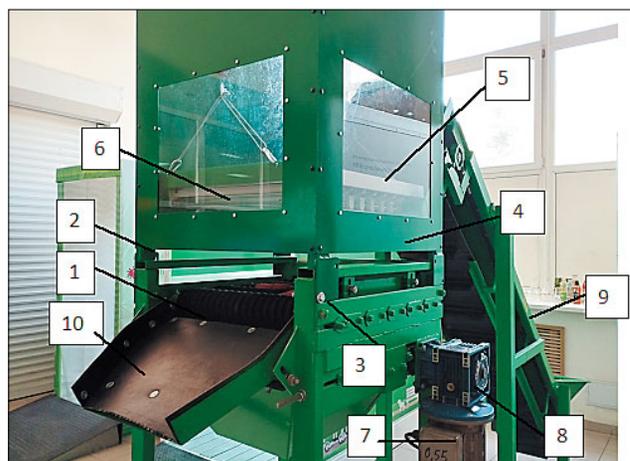


Рис. 2. Лабораторная установка с ориентирующим модулем

Fig. 2. Laboratory installation with an orientation module

Питание основных программно-аппаратных средств лабораторной установки обеспечивается от сети переменного тока. Привод вращательного движения осуществляется мотор-редуктором 8, окружная скорость регулируется частотным преобразователем 7. Режим освещения на временной промежуток, а также порядок работы задаются с помощью программируемого микроконтроллера (на рисунке не указан).

Товарная продукция поступает по транспортеру 9, проходит по рабочей поверхности 1 ориентирующего модуля через зону УФ-воздействия 6 и выгружается через лоток 10.

Влияние УФ-воздействия исследовали при закладке на хранение клубней картофеля и овощных культур урожая 2023 г. при их послеуборочной обработке и последующим теплым вентиляционным хранением на складе согласно требованиям.

Конструкция ориентирующего модуля позволяет формировать поток обрабатываемой продукции в один слой со сходом в затариваемое устройство и перемещением на хранение [12]. Ширина рабочей зоны ориентирующего модуля 1015 мм, количество спиральных валцов – 7, мощность электродвигателя 0,75 кВт, напряжение питания 380 В, высота минимальная 1580 мм, максимальная 1830 мм, зазоры между валцами 25–45 мм. Источниками УФ-лучей в конструкции лабораторной установки служат бактерицидные лампы.

Исследования влияния УФ-излучения на показатели качества семенного и посадочного материала в период закладки на насыпное хранение выполнялись согласно методике оценки качества (рис. 3) по завершении периода хранения с обоснованием временного интервала, температурных параметров воздушной смеси и оптических режимов ультрафиолетового излучения [13]. Эксперименты выполнялись в четырехкратной повторности (допустимое отклонение между параллельными определениями не более 5%). Математическую обработку данных проводили методом описательной статистики и дисперсионного анализа, используя пакеты программ *Microsoft Excel* и *Statistica* [14].



Рис. 3. Структурная схема исследований влияния электрофизического воздействия на сроки хранения картофеля и овощных культур

Fig. 3. Structural diagram of studies investigating the effects of electrophysical treatments on the shelf life of potatoes and other vegetable crops

С целью предотвращения прогрессирования различных инфекционных заболеваний посевной и посадочный материал необходимо подвергнуть обработке УФ-излучением интенсивностью 10–15 кДж/м в потоке движения по ленточному транспортеру перед закладкой на хранение [15].

Результаты и обсуждение. Работа по изучению влияния электрофизического воздействия на био-

логические объекты (патогенную фитофлору) и повышению качества хранения плодоовощной продукции выполнена в лабораторных условиях ФНАЦ ВИМ в 2023 г. в соответствии с программой исследований.

Объектами эксперимента выбраны наиболее распространенные для возделывания в разных почвенно-климатических условиях Российской Федерации клубни картофеля сорта Леди Розетта, морковь столовая сорта Витаминная 6, свекла столовая Бордо 237. Изучали зависимость степени инактивации фитопатогенных микроорганизмов от величины УФ-воздействия (сила фототока УФ-излучения), длительности обработки ($t_{об}$), а также при варьировании расстояния между источниками излучения.

По результатам исследований определяли оптимальные параметры процесса обработки [12]. Изучено влияние обработки корнеплодов моркови и свеклы УФ-воздействием с установленными параметрами на степень развития заболеваний, вызываемых исследуемыми фитопатогенными микроорганизмами при разных температурах [16, 17].

В таблице представлены результаты исследования биологической эффективности УФ-облучения картофеля, столовой моркови и столовой свеклы после заражения фитопатогенными микроорганизмами и последующей обработки. Корнеплоды хранились при температуре 2 ± 1 и $25\pm 1^\circ\text{C}$ в течение 14 суток [18–20].

Биологическая эффективность контрольных образцов (без комплексной УФ-обработки) при температуре хранения 2°C составила: по показателю распространенности болезни – 84 % для столовой моркови, 84,8% для столовой свеклы и 88% для клубней картофеля, по развитию болезни – 38% для столовой моркови, 32% для столовой свеклы и клубней картофеля. При температуре 25°C показатели ухудшаются: по распространенности болезни – 100% для столовой моркови, 94,7% для столовой свеклы и 84,4% для клубней картофеля, по развитию болезни – соответственно 84,4, 77,8 и 72,3%.

При поступательной скорости движения $v_d = 0,7$ м/с, межсезонном расстоянии между источниками ультрафиолетового излучения $S_\phi = 0,1$ м и расстоянии от источника излучения до роликовой поверхности $S_1 = 0,05$ м постоянная доза УФ-С воздействия на картофель составляла 10 кДж/м², морковь столовую – 15 кДж/м², свеклу столовую 15 кДж/м².

Исследования выявили положительный эффект метода УФ-воздействия на биологические свойства посевного материала клубней картофеля и корнеплодов при обоснованных технологических параметрах. Опыты в лабораторно-производственных условиях подтвердили повышение качества и снижение перезаражения семян овощных культур и картофеля.

Таблица			Table	
БИОЛОГИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ОБРАБОТКИ УФ-ИЗЛУЧЕНИЕМ КОРНЕПЛОДОВ И КЛУБНЕЙ ПЕРЕД ХРАНЕНИЕМ ПРИ ТЕМПЕРАТУРЕ 2±1 и 25±1°C				
STUDY OF THE BIOLOGICAL EFFECTIVENESS OF TREATMENTS OF ROOT CROPS AND TUBERS BEFORE STORAGE AT A TEMPERATURE OF 2±1 AND 25±1°C				
Вид обработки	Распространенность болезни P, %	Развитие болезни R, %	Биологическая эффективность	
			P, %	R, %
Температура 2±1°C				
<i>Морковь столовая Витаминная 6</i>				
Контроль	84	38	–	–
УФ-излучение	33	8,4	63	73,8
<i>Свекла столовая Бордо 237</i>				
Контроль	88	32	–	–
УФ-излучение	24	7,6	73,9	72,9
<i>Картофель Леди Розетта</i>				
Контроль	88	32	–	–
УФ-излучение	27	8,2	72,4	74,4
Температура 25±1°C				
<i>Морковь столовая Витаминная 6</i>				
Контроль	100	84,4	–	–
УФ-излучение	58,3	17,6	43,2	74,7
<i>Свекла столовая Бордо 237</i>				
Контроль	94,7	77,8	–	–
УФ-излучение	58,7	16,8	43,7	82,3
<i>Картофель Леди Розетта</i>				
Контроль	84,4	72,3	–	–
УФ-излучение	56,4	17,2	42,4	79,4

Выводы. Для исследований влияния электрофизического воздействия на сроки хранения картофеля и овощных культур разработано устройство [20], которое обеспечивает возможность применения ультрафиолетового излучения в поточной линии послеуборочной обработки продукции при последующем хранении.

Определены конструктивные особенности и мощность источников ультрафиолетового излучения. Минимальная величина составляет 0,2 м и максимальное значение 0,4 м с шагом варьирования 0,1 м.

Установлено, что биологическая эффективность без комплексной обработки УФ-воздействия при температуре хранения 2°C составила: по распространенности болезни 84% для столовой моркови, 84,8% для столовой свеклы и 88% для клубней картофеля, по развитию болезни – для моркови 38%,

для свеклы и клубней картофеля 32%. При температуре 25°C исследуемые показатели ухудшаются: распространенность болезни – соответственно 100, 94,7 и 84,4%, развитие болезни – 84,4, 77,8 и 72,3%.

Использование УФ-воздействия при поступательной скорости движения исследуемых объектов 0,7 м/с, межсековом расстоянии друг от друга источников ультрафиолетового излучения 0,1 м, расстоянии от источника излучения до роликковой поверхности транспортера 0,05 м и постоянной дозе УФ-С воздействия на картофель составляла 10 кДж/м², морковь столовую – 15 кДж/м², свеклу столовую 15 кДж/м². Отмечена положительная динамика снижения показателей биологической эффективности обработки по распространенности и развитию инфекционного заболевания исследованных корнеклубнеплодов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Лобачевский Я.П., Дорохов А.С., Сибирев А.В. Современное состояние технологического обеспечения производства овощных культур в Российской Федерации // *Овощи России*. 2023. N5. С. 5-10. DOI: 10.18619/2072-9146-2023-5-5-17.
2. Дорохов А.С., Аксенов А.Г., Сибирев А.В. и др. Теоретические предпосылки интенсификации уборки лука-севка // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2023. N3. С. 85-92. DOI: 10.22314/2073-7599-2023-17-3-85-92.
3. Yanykin D.V., Pashkin M.O., Simakin A.V. et al. Plant photochemistry under glass coated with upconversion luminescent film. *Applied Sciences*. 2022. N12. 7480. DOI: 10.3390/app12157480.

4. Golmohammadi A., Bejaei F., Behfar H. Design, development and evaluation of an online potato sorting system using machine vision. *International Journal of Agriculture and Crop Sciences*. 2013. N6. 396-402. DOI: cabdirect.org/cabdirect/abstract/20133372449.
5. Lü J.Q., Shang Q.Q., Yang Y. et al. Design optimization and experiment on potato haulm cutter. *Transactions of the CSAM*. 2016. N47(5). 106-114. DOI: 10.1080/0305215X.2016.1164855.
6. Лобачевский Я.П., Ценч Ю.С. Принципы формирования систем машин и технологий для комплексной механизации и автоматизации технологических процессов в растениеводстве // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2022. Т. 16. N4. С. 4-12. DOI: 10.22314/2073-7599-2022-16-4-4-12.
7. Попов В.Д., Валге А.М., Папушин Э.А. Повышение эффективности производства продукции растениеводства с использованием информационных технологий // *Технологии и технические средства механизированного производства продукции растениеводства и животноводства*. 2009. Т. 81. С. 32-39. EDN: THYQKD.
8. Измайлов А.Ю., Лобачевский Я.П., Дорохов А.С. и др. Современные технологии и техника для сельского хозяйства – тенденции выставки Agritechnika 2019 // *Тракторы и сельхозмашины*. 2020. N6. С. 28-40. DOI: 10.31992/0321-4443-2020-6-28-40.
9. 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. N2. С. 4-12. DOI: 10.22314/2073-7599-2023-17-2-4-12.
10. 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. N2. С. 40-48. DOI: 10.22314/2073-7599-2023-17-2-40-48.
11. Avila R., Schoenau J., King T., Grevers M. Effects of subsoiling tillage on structure, permeability, and crop yields on compacted Solonchic and Chernozemic dry land soils in Western Canada. *Canadian Biosystems Engineering*. 2020. N62. 1.1-1.9. DOI: 10.7451/CBE.2020.62.1.1.
12. Lobachevsky Ya., Dorokhov A., Aksenov A. et al. RAMAN and fluorimetric scattering lidar facilitated to detect damaged potatoes by determination of spectra. *Applied Sciences*. 2022. N12. 5391. DOI: 10.3390/app12115391.
13. Erokhin M.N., Dorokhov A.S., Sibirev A.V. et al. Development and modeling of an onion harvester with an automated separation system. *AgriEngineering*. 2022. 4(2). 380-399. DOI: 10.3390/agriengineering4020026.
14. Аксенов А.Г., Сибирев А.В. Состояние технического обеспечения производства овощных культур в Российской Федерации // *Картофель и овощи*. 2021. N8. С. 3-8. DOI: 10.25630/PAV.2021.85.47.001.
15. Aksenov A.G., Sibirev A.V. Technical support of vegetable growing in countries of the Eurasian Economic Union. *АМА*. 2020. N3 (51). 12-19. EDN: XAWSBO.
16. Пастухов А.Г., Добрицкий А.А., Бахарев Д.Н., Вольвак С.Ф. Исследование физико-механических свойств семян тыквы как объекта сушки // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2024. Т. 18. N1. С. 52-59. DOI: 10.22314/2073-7599-2024-18-1-52-59.
17. Зимин И.Б., Игнатенков В.Г., Яковлев М.А., Смирнов А.В. Экспериментальное исследование аэродинамических характеристик гранулированных сыпучих материалов // *Известия Великолукской государственной сельскохозяйственной академии*. 2020. N2(31). С. 29-33. EDN: LZPPM.
18. Сазонов Н.В., Мосяков М.А., Тетерин В.С. и др. Показатели качества работы автоматизированной машины для ухода за растениями картофеля в селекции и семеноводстве // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2024. Т. 18. N1. С. 60-67. DOI: 10.22314/2073-7599-2024-18-1-60-67.
19. Лобачевский Я.П., Лачуга Ю.Ф., Измайлов А.Ю., Шогенов Ю.Х. Научно-технические достижения агроинженерных научных организаций в условиях цифровой трансформации сельского хозяйства // *Техника и оборудование для села*. 2023. N4(310). С. 2-5. DOI: 10.33267/2072-9642-2023-4-2-5.
20. 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. N 3. С. 29-34. DOI: 10.31992/0321-4443-2019-3-29-34.

REFERENCES

1. Lobachevsky Ya.P., Dorokhov A.S., Sibirev A.V. The current state of technological support for vegetable crops production in Russian Federation. *Vegetable crops of Russia*. 2023. N5. 5-10 (In Russian). DOI: 10.18619/2072-9146-2023-5-5-17.
2. Dorokhov A.S., Aksenov A.G., Sibirev A.V. et al. Theoretical foundations for intensifying onion set harvesting. *Agri-cultural Machinery and Technologies*. 2023. Vol. 17. N3. 85-92. (In Russian). DOI: 10.22314/2073-7599-2023-17-3-85-92.
3. Yanykin D.V., Pashkin M.O., Simakin A.V. et al. Plant photochemistry under glass coated with upconversion luminescent film. *Applied Sciences*. 2022. N12. 7480 (In Russian). DOI: 10.3390/app12157480.
4. Golmohammadi A., Bejaei F., Behfar H. Design, development and evaluation of an online potato sorting system using machine vision. *International Journal of Agriculture and Crop Sciences*. 2013. N6. 396-402 (In English). DOI: cabdirect.org/cabdirect/abstract/20133372449.
5. Lü J.Q., Shang Q.Q., Yang Y. et al. Design optimization and experiment on potato haulm cutter. *Transactions of the CSAM*. 2016. N47(5). 106-114 (In English). DOI:

- 10.1080/0305215X.2016.1164855.
6. Lobachevskiy Ya.P., Tsench Yu.S. Principles of forming machine and technology systems for integrated mechanization and automation of technological processes in crop production. *Agricultural Machinery and Technologies*. 2022. Vol. 16. N4. 4-12. (In Russian). DOI: 10.22314/2073-7599-2022-16-4-4-12.
 7. Popov V.D., Valge A.M., Papushin E.A. Enhancing crop production efficiency using information technology. *Agro-EcoEngineering*. 2009. Vol. 81. 32-39 (In Russian). EDN: THYQKD.
 8. Izmaylov A.Y., Lobachevskiy Y.A., Dorokhov A.S. et al. Modern agriculture technologies and equipment - trends of an AGRITECHNIKA 2019 exhibition. *Tractors and Agricultural Machinery*. 2020. Vol. 87. N6. 28-40 (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.31992/0321-4443-2020-6-28-40>.
 9. 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. Vol. 17. N2. 4-12 (In Russian). DOI: 10.22314/2073-7599-2023-17-2-4-12.
 10. 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 Russian). DOI: 10.22314/2073-7599-2023-17-2-40-48.
 11. Avila R., Schoenau J., King T., Grevers M. Effects of subsoiling tillage on structure, permeability, and crop yields on compacted Solonchic and Chernozemic dry land soils in Western Canada. *Canadian Biosystems Engineering*. 2020. N62. 1.1-1.9 (In English). DOI: 10.7451/CBE.2020.62.1.1.
 12. Lobachevsky Ya., Dorokhov A., Aksenov A. et al. RAMAN and fluorimetric scattering lidar facilitated to detect damaged potatoes by determination of spectra. *Applied Sciences*. 2022. 12. 5391 (In English). DOI: 10.3390/app12115391.
 13. Erokhin M.N., Dorokhov A.S., Sibirev A.V. et al. Development and modeling of an onion harvester with an automated separation system. *AgriEngineering*. 2022. 4(2). 380-399 (In English). DOI: 10.3390/agriengineering4020026.
 14. Aksenov A.G., Sibirev A.V. State of technical support for vegetable crops production in the Russian Federation. *Potato and vegetables*. 2021. N8. 3-8 (In Russian). DOI: 10.25630/PAV.2021.85.47.001.
 15. Aksenov A.G., Sibirev A.V. Technical support of vegetable growing in countries of the Eurasian Economic Union. *AMA*. 2020. N.3 (51). 12-19 (In English). EDN: XAWSBO.
 16. Pastukhov A.G., Dobritskiy A.A., Bakharev D.N., Volkov S.F. Physico-mechanical properties of pumpkin seeds in the context of drying processes. *Agricultural Machinery and Technologies*. 2024. Vol. 18. N1. 52-59 (In Russian). DOI: 10.22314/2073-7599-2024-18-1-52-59.
 17. Zimin I.B., Ignatenkov V.G., Yakovlev M.A., Smirnov A.V. Experimental study of aerodynamic characteristics of granular bulk materials. *Izvestiya of Velikie Luki State Agricultural Academy*. 2020. N2(31). 29-33 (In Russian). EDN: LZPPM.
 18. Sazonov N.V., Mosyakov M.A., Teterin V.S. et al. Quality metrics of automated machinery in potato plant cultivation for breeding and seed production. *Agricultural Machinery and Technologies*. 2024. Vol. 18. N1. 60-67 (In Russian). DOI: 10.22314/2073-7599-2024-18-1-60-67.
 19. Lobachevskiy Ya.P., Lachuga Yu.F., Izmaylov A.Yu., Shogenov Yu.Kh. Scientific and technical achievements of agroengineering scientific organizations in the context of digital transformation of agriculture. *Machinery and Equipment for Rural Area*. 2023. N4(310). 2-5 (In Russian). DOI: 10.33267/2072-9642-2023-4-2-5.
 20. 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. N3. 29-34 (In Russian). DOI: 10.31992/0321-4443-2019-3-29-34.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Заявленный вклад соавторов:

Дорохов А.С. – концептуализация, научное руководство;
 Сибирев А.В. – методология, поиск и анализ литературы, проведение исследований, визуализация;
 Пономарев А.Г. – поиск и анализ литературы;
 Петухов С.Н. – проведение исследований, создание лабораторной установки.

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Coauthors' contribution:

Dorokhov A.S. – conceptualization, scientific guidance;
 Sibirev A.V. – methodology, literature search and analysis, research, visualization;
 Ponomarev A.G. – search and analysis of literature;
 Petukhov S.N. – conducting research, creating a laboratory installation.

The authors read and approved the final manuscript.

Статья поступила в редакцию
 Статья принята к публикации

The paper was submitted to the Editorial Office on
 The paper was accepted for publication on

03.04.2024
 23.05.2024