



Устройство электрофизического воздействия для улучшения показателей картофеля и овощных культур при хранении

Николай Викторович Сазонов,
кандидат технических наук,
старший научный сотрудник,
e-mail: sazonov_nikolay@mail.ru;
Алексей Викторович Сибирёв,
доктор технических наук,
главный научный сотрудник,
e-mail: sibirev2011@yandex.ru;
Максим Александрович Мосяков,
кандидат технических наук,
ведущий научный сотрудник,
e-mail: maks.mosyakov@yandex.ru

Максим Сергеевич Трунов,
аспирант,
e-mail: makstrunov1998@mail.ru;
Артем Олегович Волков,
аспирант,
e-mail: volkovart2000@mail.ru;
Даниил Дмитриевич Кондрахов,
аспирант,
e-mail: tancorkondor@yandex.ru

Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ, Москва, Российская Федерация

Работа выполнена при государственной поддержке РНФ конкурса 2023 года «Проведение исследований научными группами под руководством молодых ученых» Президентской программы исследовательских проектов, реализуемых ведущими учеными, в том числе молодыми учеными No 23-76-10062.

Реферат. Отмечено, что на рынке семенного материала овощных культур доля российских сортов снижается. Во многом такая ситуация обусловлена отставанием в технологическом уровне и технической оснащенности большинства учреждений–оригинаторов российских сортов от зарубежных селекционно-семеноводческих центров и компаний. *(Цель исследования)* Инженерное обеспечение технологии инновационного получения семян овощных культур и картофеля с автоматической фиксацией и поддержанием технологических параметров и показателей качества хранения. *(Материалы и методы)* Для разработки автоматической системы контроля и управления процессом закладки биологических объектов на хранение необходимо определить основные требования к процессу электрофизического воздействия (ультрафиолетовое излучение) на семенной материал, а также параметры технологических режимов. *(Результаты и обсуждение)* Разработана, изготовлена и проходит лабораторные испытания экспериментальная установка электрофизического воздействия на показатели качества хранения. Автоматическая система контроля за рабочим процессом с ориентирующим модулем должна обеспечивать: изменение и поддержание поступательной скорости движения обрабатываемой продукции, а также возможность изменения режима электрофизического воздействия в зависимости от фактической подачи и физико-механических свойств вороха; технологических параметров клубней и работы ориентирующего модуля. Регулируемая сила фототока УФ-воздействия задается и контролируется автоматически посредством бортового компьютера. *(Выводы)* Разработанная автоматическая система контроля и управления процессом закладки биологических объектов на хранение позволяет эффективно регулировать параметры УФ-воздействия, такие как интенсивность излучения и время облучения, в зависимости от физико-механических свойств продукции и технологических параметров работы установки. Различные способы дезинфекции камер хранения, в частности озонирование, обработка газообразным диоксидом хлора и УФ-облучение, позволяют снизить микробиологическую порчу продукции. Исследования подтвердили, что применение УФ-воздействия в сочетании с автоматической системой контроля и управления технологическими параметрами позволяет значительно улучшить качество хранения овощных культур и картофеля, особенно при повышенных температурах.

Ключевые слова: овощные культуры, картофель, исследования, испытания, ультрафиолетовое воздействие, лабораторная установка, хранение

■ **Для цитирования:** Сазонов Н.В., Сибирёв А.В., Мосяков М.А., Трунов М.С., Волков А.О., Кондрахов Д.Д. Устройство электрофизического воздействия для улучшения показателей картофеля и овощных культур при хранении // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2025. Т. 19. №1. С. 22-29. DOI: 10.22314/2073-7599-2025-19-1-22-29. EDN: IGIPGR.

Electrophysical Treatment Device for Enhancing the Storage Performance of Potatoes and Vegetable Crops

Nikolay V. Sazonov,
Ph.D.(Eng), senior researcher,
e-mail: sazonov_nikolay@mail.ru;
Alexey V. Sibirev,
Dr.Sc.(Eng.), chief researcher,
e-mail: sibirev2011@yandex.ru;
Maksim A. Mosyakov,
Ph.D. (Eng), leading researcher,
e-mail: maks.mosyakov@yandex.ru;

Maksim S. Trunov,
postgraduate student,
e-mail: makstrunov1998@mail.ru;
Artem O. Volkov,
postgraduate student,
e-mail: volkovart2000@mail.ru;
Daniil D. Kondrakhov,
postgraduate student,
e-mail: tancorkondor@yandex.ru

Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow, Russian Federation

The project, implemented by leading scientists, including young researchers, is funded under Grant No. 23-76-10062.

Abstract. The paper highlights the declining market share of Russian vegetable crop seed varieties. This trend is primarily attributed to a lag in technological development and insufficient technical equipment in most Russian seed-originating institutions compared to foreign breeding and seed production centers and companies. (*Research purpose*) To develop an engineering solution for an innovative technology for obtaining vegetable crop and potato seeds while ensuring the automatic fixation and maintenance of technological parameters and quality indicators during storage. (*Materials and methods*) To develop an automated control and management system for storing biological objects, it is crucial to determine the key requirements for the electrophysical treatment process, specifically ultraviolet radiation applied to seed material, along with the parameters of its technological modes. (*Results and discussion*) An experimental setup for electrophysical treatment, designed to improve storage quality indicators, has been developed, manufactured, and is currently undergoing laboratory testing. The automated process control system integrated with an orienting module must ensure the following: adjustment and maintenance of the translational speed of treated products; dynamic modification of the electrophysical treatment mode based on the actual feed rate, the physical and mechanical properties of the bulk material, the technological parameters of tubers, and the operation of the orienting module. The regulated photocurrent intensity of ultraviolet radiation exposure is set and controlled automatically via an onboard computer. (*Conclusions*) The developed automated control and management system for storing biological objects enables effective regulation of ultraviolet radiation exposure parameters, such as radiation intensity and exposure time. These adjustments depend on the physical and mechanical properties of the product and the technological parameters of the equipment. Various disinfection methods for storage chambers, such as ozonation, gaseous chlorine dioxide treatment, and ultraviolet radiation exposure, effectively reduce microbial spoilage. Research confirms that ultraviolet radiation treatment, when integrated with an automated system for monitoring and controlling technological parameters, significantly improves the storage quality of vegetable crops and potatoes, particularly under elevated temperature conditions.

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

■ **For citation:** Sazonov N.V., Sibirev A.V., Mosyakov M.A., Trunov M.S., Volkov A.O., Kondrakhov D.D. Electrophysical treatment device for enhancing the storage performance of potatoes and vegetable crops. *Agricultural Machinery and Technologies*. 2025. Vol. 19. N1. 22-29 (In Russian). DOI: 10.22314/2073-7599-2025-19-1-22-29. EDN: IGIPGR.

Овощные культуры и картофель имеют одну из самых длительных схем семеноводства (до 5 лет, а иногда больше). Наивысшая урожайность наблюдается при укороченных схемах производства элиты, но для этого необходимо промышленное количество оздоровленных семян (несколько сотен тысяч и более в расчете на семеноводческое хозяйство) [1]. Разработка инновационной технологии промышленного производства оз-

доровленных семян в больших объемах с низкой себестоимостью и инженерным обеспечением – задача весьма актуальная.

Выполнение разработанных ФНАЦ ВИМ требований к инновационной технологии ускоренного воспроизводства клубневого материала потенциально позволит увеличить выход семян с одного растения за две ротации в год на модуле на два порядка (в 100 раз) по сравнению с перспективными

на данный момент гидропонными способами [2-4]. Однако для выведения семян отечественной селекции необходимо не только их получить, но также обеспечить надлежащие условия хранения.

Одним из направлений повышения качества семян овощных культур и картофеля является электрофизическое воздействие различными методами. В ФНАЦ ВИМ разработана, изготовлена и используется в лабораторных исследованиях экспериментальная установка с электрофизическим воздействием (ультрафиолетовое излучение) на показатели качества хранения семенного материала.

Цель исследования – инженерное обеспечение технологии получения семян овощных культур и картофеля с применением электрофизического воздействия на показатели качества хранения при автоматической фиксации и поддержании заданных технологических параметров.

Материалы и методы. Исследование возможности воздействия ультрафиолетового излучения в поточной линии для послеуборочной обработки продукции при последующем хранении выполнено в предшествующей публикации [5]. Проведены экспериментальные исследования для определения параметров электрофизического воздействия на интенсификацию качества хранения овощных культур и картофеля с использовалась установка с ориентирующим модулем (рис. 1).

Установка представляет собой размещенную на опорной стойке 2 и соединенную с ней болтовым креплением 3 камеру 4 для обработки продукта. В камере на подвесе 5 расположены газоразрядные лампы высокого давления 6. Движение продукта осуществляется по роликовой поверхности 1 от мотор-редуктора 8. Установка оснащена микроконтроллером 7. Источники УФ-излучения – лампы бактерицидные *Philips TUV30W* (мощность бактерицидного потока 12 Вт, длина волны 253,7 нм, стекло увиолевое, содержание ртути 2 мг, длина 908,8 мм, диаметр колбы 28 мм).

Исследования предполагают разработку автоматической системы контроля и управления процессом закладки биологических объектов на хранение. В связи с этим необходимо определить основные требования к выполнению процесса электрофизического воздействия, а также параметры технологических режимов работы установки.

Автоматическая система контроля должна обеспечивать изменение и поддержание поступательной скорости движения продукции, а также корректировку режимов электрофизического воздействия в зависимости от фактической подачи, физико-механических свойств вороха и технологических параметров работы ориентирующего модуля. Сила фототока УФ-излучения (IT) задается и регулируется автоматически посредством бортового ком-

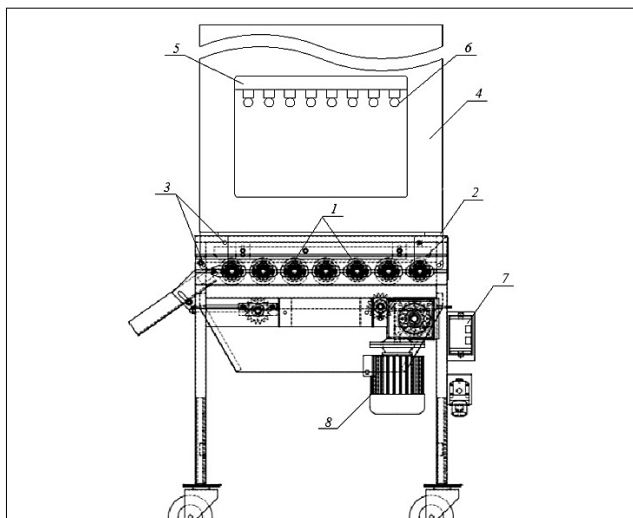


Рис. 1. Схема лабораторной установки с ориентирующим модулем

Fig. 1. Diagram of a laboratory setup with an orienting module

пьютера (БУ). Электрическая схема устройства контроля и управления режимом УФ-излучения и технологическими параметрами ориентирующего модуля представлена на рисунке 2.

Элементы сенсорной системы подключены к ориентирующему модулю через штыревые разъемы по стандартным схемам: ультразвуковой датчик расстояния по одной из *GPIO* линий микроконтроллера, ИК-датчик дистанционного управления к *GPIO* линии по протоколу *onewiring*, сенсорный экран к *GPIO* линии по протоколу *UART*, датчик тока в разрыв выходной цепи мостового усилителя, цифровой датчик подключен к *SDA* и *SCL* пинам.

Система осуществляет контроль состояния линейных приводов и реализует заданные программой законы перемещения рабочей точки. Функции усилителя выполняет *H*-мост на микросхеме *BTS 7960*, подключенный к *GPIO* портам микроконтроллера с возможностью ШИМ-модуляции (*PWM*). Максимальный допустимый ток 43А [6].

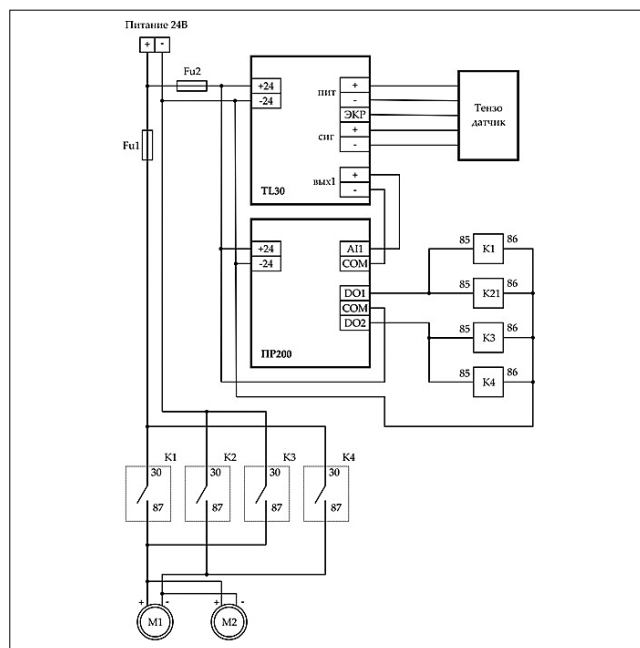


Рис. 2. Электрическая схема устройства контроля и управления

Fig. 2. Electrical circuit of the control and management device

Для достижения требуемого уровня УФ-воздействия необходимо определить количество энергии, проходящей через площадь поверхности биологического объекта в определенный промежуток времени:

$$D_i = J \cdot t_{об}, \quad (1)$$

где J – интенсивность линейного сканирования, Вт/м; $t_{об}$ – время облучения, с.

Сила фототока УФ-воздействия рассчитывается по площади i -го сечения биологического объекта с упрощенной характеристикой для тела неправильной формы

$$V_T \approx k_1 \sum_{i=1}^n R_K = \frac{k_3}{2} \sum_{i=1}^n D_K, \quad (2)$$

где R_K и D_K – радиальные и диаметральные размеры биологического объекта, м; k_1 – коэффициент неравномерности размера биологического объекта.

С учетом выражения (2) сила фототока линейного сканирования по объему биологического объекта

$$V_T \approx k_4 \sum_{i=1}^n D_K, \quad (3)$$

где k_4 – коэффициент неравномерности размера биологического объекта; n – число источников УФ-воздействия, шт.

Проверка теоретических предпосылок функционирования предлагаемой автоматической системы контроля электрофизического воздействия режимных и технологических параметров ориентирующего модуля проводилась в лабораторных и производственных условиях.

Результаты и обсуждение. Влияние воздействия электрофизического поля на биологические объекты (патогенную фитофлору) и повышение качества хранения плодовоовощной продукции изучали в лабораторных условиях ФНАЦ ВИМ в 2024 г. в соответствии с программой исследований [7].

Механизмы и возможные эффекты обработки электромагнитными полями биологических объектов, в том числе микрофлоры, вызывающей заражение и порчу закладываемых на хранение корнеплодов [8], изучены не в полной мере. Для исследования этих вопросов определяли степень инактивации фитопатогенных микроорганизмов в зависимости от величины и продолжительности УФ-излучения (силы фототока VT) и расстояния между источниками излучения ($S\Phi$). По результатам определяли оптимальные параметры УФ-обработки клубней картофеля, корнеплодов моркови и свеклы с установленными значениями степени развития заболеваний растения при разных температурных режимах хранения [9].

Для эксперимента выбраны наиболее распространенные для возделывания в разных почвенно-климатических условиях Российской Федерации сорта овощных культур: картофель Леди Розетта, морковь столовая Витаминная 6, свекла столовая Бордо 237. Изучали влияние УФ-обработки на товарное качество, органолептические, микробиологические и биохимические показатели овощей. Качество моркови и свеклы, а также клубней картофеля определяли на соответствие требованиям ГОСТ 1722-85 «Свекла столовая свежая, заготавливаемая и поставляемая. Технические условия», ГОСТ 1721-85 «Морковь столовая свежая, заготавливаемая и поставляемая. Технические условия», ГОСТ 7176-2017 «Картофель продовольственный. Технические условия» [10]. После обработки товарная продукция должна храниться в темноте при 20 °С и относительной влажности воздуха 80% до 40 дней [11].

Перед закладкой овощей на хранение климатические камеры предварительно необходимо обеззараживать [12]. В соответствии с вариантами опыта предусматривались разные способы дезинфекции с целью их оценки и изучения возможных комбинаций: без обработки (контроль общей зараженности); озонирование; обработка газообразным диоксидом хлора (12,0 мг/л) при экспозиции 10 мин; ультрафиолетом (254 нм) экспозиция в течение 20 мин (табл. 1).

Насыщение газом отсеков хранилища для обеззараживания осуществляется из баллонов с электромагнитными клапанами. После обработки до закладки овощей должно пройти не менее двух суток [13-15]. Необходимо соблюдать очередность проведения опытов в соответствии с требованиями культур к условиям хранения (табл. 2).

Таблица 1

Table 1

РЕЖИМЫ ОБРАБОТКИ ОЗОНОМ ПОСАДОЧНОГО МАТЕРИАЛА ОВОЩНЫХ КУЛЬТУР И КАРТОФЕЛЯ С ПРИМЕНЕНИЕМ ОЗОНА
ПРИ ДЛИТЕЛЬНОМ ХРАНЕНИИ
OZONE TREATMENT MODES FOR VEGETABLE CROP PLANTING MATERIAL AND POTATOES IN LONG-TERM STORAGE

Продукт	Концентрация озона, мг/м ³	Время озонирования, ч/сут	Количество обработок
Картофель	12-14	3-6	Ежемесячно
Свекла	7-13	4	Еженедельно
Морковь	5-15	5	3 дня подряд 1 раз в месяц

Таблица 2

Table 2

ПАРАМЕТРЫ ХРАНЕНИЯ ПОСАДОЧНОГО МАТЕРИАЛА ОВОЩНЫХ КУЛЬТУР И КАРТОФЕЛЯ
STORAGE PARAMETERS FOR VEGETABLE CROP PLANTING MATERIAL AND POTATOES

Культура	Температура	Относительная влажность	Продолжительность
Картофель	2-3 °C	80-85%	4-6 мес
Морковь	0,1-2,0 °C	85-95%	4-6 мес
Свекла	0,1-2,0 °C	88-95%	4-6 мес

В *таблице 3* представлены данные о товарном качестве корнеплодов овощей и картофеля (выход стандартной, нестандартной продукции, абсолютный отход) в результате хранения при температуре 2 ± 1 и 25 ± 1 °C. Измерения выполнялись при трехкратной повторности ($p = 0,95$).

Выход стандартной продукции корнеплодов моркови сорта Витаминная 6 при температуре хранения 2 °C в контрольном опыте ниже на 11,3%, чем после УФ-воздействия. При увеличении температуры до 25 °C в случае УФ-обработки выход кондиционного материала выше на 23,6%. Однако, повышение товарного качества более чем на 50% наблюдается у некондиционных фракций моркови при температуре 25 °C.

Хранение свеклы Бордо 237 при 25 °C обеспечивает выход кондиционной продукции в контроле в 1,52 раза ниже, чем после УФ-обработки. Аналогичная тенденция при температуре 2 °C для нестандартных фракций товарной продукции. Выход стандартной продукции при 2 °C на 10,6-11,3%, при температуре хранения 25 °C – на 18,9-19,2% больше относительно контрольных образцов.

При хранении картофеля сорта Леди Розетта установлено, что вне зависимости от температуры хранения УФ-воздействие обеспечивает увеличение выхода в среднем на 7,9% больше, чем у контрольных образцов [16].

В *таблице 4* приведены количественные потери в результате естественной убыли [17, 18] и микробиологической порчи моркови, свеклы и картофеля [19] в зависимости от способа их предварительной обработки [20] при разной температуре хранения через 21 и 56 дней.

Измерения выполнялись при трехкратной повторности ($p = 0,95$). Микробиологическую порчу и естественную убыль определяли в соответствии с требованиями ГОСТ 1722-85, ГОСТ 1721-85, ГОСТ 7176-2017.

Для исследования влияния различных способов обработки на органолептические, микробиологические и биохимические показатели в процессе хранения при различных температурах корнеплоды овощных культур и клубни картофеля закладывали в камеры, обработанные различными способами, приведенными в *таблице 1*.

Таблица 3

Table 3

ТОВАРНОЕ КАЧЕСТВО КОРНЕПЛОДОВ ПРИ ХРАНЕНИИ В РАЗНЫХ УСЛОВИЯХ
COMMERCIAL QUALITY OF ROOT CROPS UNDER DIFFERENT STORAGE CONDITIONS

Культура, вид обработки	Товарное качество, %					
	кондиционные		некондиционные		отход	
	2 °C	25 °C	2 °C	25 °C	2 °C	25 °C
Морковь столовая Витаминная 6						
Контроль	74,6±2,8	42,2±1,4	6,7±0,3	14,5±0,4	19,8±1,3	38,4±1,5
УФ-воздействие	83,2±3,4	65,8±2,3	6,2±0,3	11,6±0,3	9,6±0,4	24,3±1,2
Свекла столовая Бордо 237						
Контроль	73,4±2,6	48,2±1,5	5,4±0,4	12,6±0,4	24,2±1,3	38,7±1,5
УФ-воздействие	84,8±3,3	74,7±2,8	7,8±0,3	11,4±0,3	10,7±0,3	16,4±0,9
Картофель Леди Розетта						
Контроль	70,2±2,7	49,8±2,4	10,8±0,3	13,8±0,7	17,8±0,6	39,2±1,3
УФ-воздействие	84,6±3,8	72,3±3,6	11,7±0,8	11,2±0,3	10,2±0,4	23,8±1,2

Таблица 4

Table 4

КОЛИЧЕСТВЕННЫЕ ПОТЕРИ КОРНЕПЛОДОВ МОРКОВИ, СВЕКЛЫ И КЛУБНЕЙ КАРТОФЕЛЯ ПРИ УФ-ВОЗДЕЙСТВИИ, %
QUANTITATIVE LOSSES OF CARROT AND BEET ROOT CROPS AND POTATO TUBERS UNDER UV EXPOSURE, %

№	Общие потери						Причина потерь					
	Кол-во дней	Температура	Вид обработки	Морковь	Свекла	Картофель	естественная убыль			микробиологическая порча		
							Морковь	Свекла	Картофель	Морковь	Свекла	Картофель
1	56	25 °C	УФ	11,5±0,4	9,3±0,6	8,4±0,2	5,7±0,4	3,8±0,2	4,2±0,1	6,3±0,4	5,8±0,2	6,2±0,2
2			Контроль	38,4±1,7	23,6±1,4	26,7±1,5	29,7±1,6	16,8±0,4	19,2±0,6	12,8±0,5	9,1±0,4	10,6±0,5
3		2 °C	УФ	8,4±0,5	5,7±0,3	6,2±0,5	4,3±0,2	2,4±0,1	3,8±0,4	2,4±0,2	2,1±0,2	2,6±0,3
4			Контроль	32,6±1,4	22,4±1,4	23,6±1,2	22,6±1,3	13,8±0,4	12,5±0,3	9,6±0,3	6,2±0,2	7,4±0,1
5	21	25 °C	УФ	8,6±0,1	5,3±0,4	6,8±0,2	5,9±0,3	2,4±0,1	3,7±0,2	2,7±0,3	3,1±0,2	3,6±0,1
6			Контроль	36,2±1,4	23,4±1,2	26,2±1,1	25,8±1,2	14,7±0,3	16,2±0,1	9,2±0,3	5,7±0,2	7,3±0,8
7		2 °C	УФ	7,2±0,2	5,3±0,4	4,7±0,2	3,4±0,1	2,9±0,2	3,8±0,1	1,7±0,2	2,4±0,2	3,2±0,2
8			Контроль	29,3±1,2	19,8±0,6	22,3±0,4	21,3±0,4	13,4±0,3	16,7±0,2	7,6±0,3	5,9±0,2	6,3±0,3

Выводы

При повышении температуры хранения корнеплодов и клубней количество потерь товарной продукции ниже при УФ-воздействии, чем при контроле.

Разработанная автоматическая система контроля и управления процессом закладки биологических объектов на хранение позволяет эффективно регулировать параметры УФ-воздействия, такие как интенсивность излучения и время облучения, в зависимости от физико-механических свойств продукции и технологических параметров работы установки. Различные способы дезинфекции камер хранения, такие как озонирование, обработка газообразным диоксидом хлора и УФ-облучение, позволяют снизить микробиологическую порчу продукции. Потери от микробиологической порчи при УФ-обработке значительно ниже, чем в контроле.

Для моркови сорта Витаминная 6 при температуре 2 °C выход стандартной продукции после

УФ-обработки был на 11,3% выше, чем в контроле. При температуре 25 °C разница составила 23,6%, потери от микробиологической порчи в контроле – 12,8%, общие потери в контроле составили 38,4%, а после УФ-обработки – 11,5%, а после УФ-обработки – только 6,3%. Для свеклы сорта Бордо 237 при температуре 25 °C выход кондиционной продукции в контроле был в 1,52 раза ниже, чем после УФ-обработки. Аналогичная тенденция наблюдалась и при температуре 2 °C. Для картофеля сорта Леди Розетта УФ-воздействие обеспечило увеличение выхода стандартной продукции в среднем на 7,9% по сравнению с контрольными образцами.

Исследования подтвердили, что применение УФ-воздействия в сочетании с автоматической системой контроля и управления технологическими параметрами позволяет значительно улучшить качество хранения овощных культур и картофеля, особенно при повышенной температуре.

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. 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.
5. Дорохов А.С., Сибирев А.В., Аксенов А.Г. и др. Определение параметров электрофизического взаимодействия на овощные культуры и картофель перед закладкой на хранение // *Аграрный научный журнал*. 2024. N3. С. 103-109. DOI: 10.28983/asjy2024i3pp103-109.
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. N16(4). 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. №6. 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. et al. 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(15). 7480. DOI: 10.3390/app12157480.
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. N4. 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. *AMA*. 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: LZPPMW.
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. N3. 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. *Agricultural 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. Dorokhov A.S., Sibirev A.V., Ponomarev A.G., Petukhov S.N. Determination of parameters of electrophysical interaction on vegetable crops and potatoes before storage. *Agrarian Scientific Journal*. 2024. N2. 103-109 (In Russian). DOI: 10.28983/asj.y2024i3pp103-109.
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. *AgroEcoEngineering*. 2009. Vol. 81. 32-39 (In Russian). EDN: THYQKD.

8. Izmaylov A.Yu., Lobachevskiy Ya.P., 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: 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 sub-soiling tillage on structure, permeability, and crop yield son compacted Solonetzic and Chernozemic dry land soilsin 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. N3(51). 12-19 (In English). EDN: XAWSBO.
16. Pastukhov A.G., Dobritskiy A.A., Bakharev D.N., Volvak S.F. Physico-mechanical properties of pumpkin seedsin 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 Velikiye Luki State Agricultural Academy*. 2020. N2(31). 29-33 (In Russian). EDN: LZPPMW.
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 agricultural engineering 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.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Заявленный вклад соавторов:

Сазонов Н.В. – концептуализация, научное руководство;
 Сибирёв А.В. – методология, формирование общих выводов;
 Мосяков М.А. – методология, формирование текста;
 Трунов М.С. – подготовка установки, проведение исследований;
 Волков А.О. – проведение исследований, поиск и анализ литературы;
 Кондрахов Д.Д. – визуализация, редактирование текста.
 Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Coauthors' contribution:

Sazonov N.V. – conceptualization, scientific supervision;
 Sibirev A.V. – methodology, formation of general conclusions;
 Mosyakov M.A. – methodology, text development;
 Trunov M.S. – preparation of the installation, conducting research;
 Volkov A.O. – conducting research, literature search and analysis;
 Kondrakhov D.D. – visualization, text editing.
 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

10.12.2024
 25.02.2025