

Автоматизированная линия для послеуборочной обработки корнеплодов и картофеля

Алексей Семенович Дорохов,
доктор технических наук,
член-корреспондент Российской академии наук,
главный научный сотрудник;

Максим Александрович Мосяков,
кандидат технических наук, старший научный
сотрудник, e-mail: Maks.Mosyakov@yandex.ru;
Николай Викторович Сазонов,
младший научный сотрудник, аспирант,
e-mail: Sazonov_Nikolay@mail.ru

Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ, Москва, Российская Федерация

Реферат. В процессе послеуборочной обработки корнеплодов и картофеля в России применяют механические сортировки различных типов, позволяющие разделять материал по размерному признаку и отводить примеси. Основное требование к этому оборудованию – обеспечение качества и надежности выполнения технологических процессов выделения примесей и разделение корнеклубнеплодов на фракции при минимальном повреждении. (*Цель исследования*) Повысить качество сортирования клубней картофеля с помощью автоматизированной линии для послеуборочной обработки корнеплодов и картофеля, позволяющей снизить их повреждения и обеспечить высокую точность разделения на фракции по размерному признаку. (*Материалы и методы*) Изучили автоматизированный процесс послеуборочной обработки корнеклубнеплодов. Разработали подходы и основные технико-технологические и конструктивные решения, направленные на повышение эффективности послеуборочной обработки корнеплодов и картофеля. Для автоматизации процесса обработки корнеплодов и картофеля установили универсальную веб-камеру Logitech HD Pro C920. Создали принципиальную блок-схему функционирования электронной системы линии. (*Результаты и обсуждение*) Уточнили размерно-массовые характеристики клубней картофеля общей массой 38 356 граммов сорта Невский урожая 2019 года и коэффициент их формы. Разработали конструкторскую документацию. Изготовили экспериментальную линию для послеуборочного сортирования клубней картофеля с оригинальной принципиальной блок-схемой функционирования электронной системы. Обосновали ее конструктивные и режимно-технологические параметры. Практические исследования работы автоматизированной линии провели в Рязанской области на базе Института семеноводства и агротехнологий – филиала Федерального научного агроинженерного центра ВИМ. (*Выводы*) Определили, что разработанная автоматизированная линия для послеуборочного сортирования корнеплодов и картофеля благодаря цифровым технологиям позволяет снизить трудозатраты, исключив ручную сортировку, а также повысить качество клубней картофеля и точность их сортирования по размерному признаку до 95-98 процентов. Выявили, что повреждение клубней картофеля не превышает одного процента.

Ключевые слова: сортирование корнеплодов и картофеля, автоматизированные технологии, машинное зрение, фракционный состав корнеклубнеплодов, полимерные материалы, послеуборочная обработка корнеклубнеплодов.

■ **Для цитирования:** Дорохов А.С., Мосяков М.А., Сазонов Н.В. Автоматизированная линия для послеуборочной обработки корнеплодов и картофеля // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2020. Т. 14. №1. С. 22-26. DOI 10.22314/2073-7599-2020-14-1-22-26.

Automated Line for Post-Harvest Processing of Root Crops and Potatoes

Alexey S. Dorokhov,
Dr.Sc.(Eng.), corresponding member of the Russian
academy of sciences, chief researcher;

Maxim A. Mosyakov,
Ph.D.(Eng.), senior researcher,
e-mail: Maks.Mosyakov@yandex.ru;
Nikolai V. Sazonov,
junior researcher, postgraduate student,
e-mail: Sazonov_Nikolay@mail.ru

Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow, Russian Federation

Abstract. In the process of post-harvest processing of root crops and potatoes in Russia, mechanical sortings of various types are used, which allows to separate the material according to the size criterion and removing impurities. The main requirement for this



equipment is to ensure the quality and reliability of technological processes for the impurities separation and the root crops separation into fractions with minimal damage. (*Research purpose*) To improve the quality of potato tubers sorting using an automated line for post-harvest processing of root crops and potatoes, which allows to reduce their damage and ensure high accuracy of separation into fractions by size. (*Materials and methods*) The authors studied the automated process of root crops post-harvest processing. They developed approaches and basic technical, technological and constructive solutions aimed at improving the efficiency of root crops and potatoes post-harvest processing. To automate the root crops and potatoes processing, the authors installed the universal web camera Logitech HD Pro C920. They created a basic block diagram of the electronic line system operation. (*Results and discussion*) The authors clarified the size and mass characteristics of potato tubers with a total weight of 38 356 grams of Nevsky variety of the 2019 harvest and their shape coefficient. They developed design documentation. An experimental line was prepared for potato tubers post-harvest sorting with an original circuit diagram of the electronic system operation. The authors substantiated its design and operational-technological parameters. Practical studies of the automated line work were carried out in the Ryazan region on the basis of the Institute of Seed Production and Agrotechnologies – a branch of the Federal Scientific Agroengineering Center VIM. (*Conclusions*) The authors determined that the developed automated line for root crops and potatoes post-harvest sorting thanks to digital technologies reduced labor costs by eliminating manual sorting, as well as improving the quality of potato tubers and the accuracy of sorting by size to 95-98 percent. It was revealed that damage to potato tubers did not exceed one percent.

Keywords: potato tubers, root crops, automated technologies, material damage reduction, machine vision, fractional composition, polymeric materials, post-harvest processing

For citation: Dorokhov A.S., Mosyakov M.A., Sazonov N.V. Avtomatizirovannaya liniya dlya posleuborochnoy obrabotki korneplodov i kartofelya [Automated line for post-harvest processing of root crops and potatoes]. *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii*. 2020. Vol. 14. N1. 22-26 (In Russian). DOI 10.22314/2073-7599-2020-14-1-22-26.

В процессе послеуборочной обработки корнеплодов и картофеля в России применяют механические сортировки различных типов, позволяющие разделять материал по размерному признаку и отводить примеси. Основное требование к этому оборудованию – обеспечение качества и надежности выполнения технологических процессов выделения примесей и разделение корнеплодов и картофеля на фракции при минимальном повреждении [1-4]. Наиболее распространенные в нашей стране роликовые и решетчатые сепараторы для послеуборочной обработки картофельного вороха имеют ряд недостатков. Основной из них – снижение качества сортирования вследствие загрязнения рабочих органов, что приводит к потерям при сортировании и хранении [5]. Для получения качественной конкурентоспособной продукции необходимо в процессе сортировки совместить ряд технологических операций, таких как деление материала на классы и фракции по качеству и размеру, выявление и отвод поврежденного и большого картофеля [6].

Уровень повреждения корнеплодов и картофеля на широко распространенных отечественных картофелесортировальных пунктах (КСП-25; КСП-15Б; КСП-15В) составляет 3,7-24,1% от общего количества [4]. Мы представили технические характеристики и принцип работы устройства, применение которого позволит исключить ручную сортировку на переборочных столах и повысить качество сортирования корнеплодов и картофеля по размерному признаку. Отличительными особенностями устройства стали идентификация материала на сортирующей поверхности с учетом внешних его повреждений и автоматический отвод примесей. Применение автоматизированного сортировочного

устройства позволит снизить повреждение корнеплодов и картофеля вследствие уменьшения перепадов высот и количества контактов с рабочими органами, выполненными из новейших полимерных материалов. Это повысит эффективность технологического процесса послеуборочной обработки и качество корнеплодов и картофеля, закладываемых на длительное хранение.

Цель исследования – повысить качество сортирования клубней картофеля с помощью автоматизированной линии для послеуборочной обработки корнеплодов и картофеля, позволяющей снизить их повреждение и обеспечить высокую точность разделения на фракции по размерному признаку.

Материалы и методы. Объектом исследования стал автоматизированный процесс послеуборочной обработки корнеплодов и картофеля. В результате патентного поиска, анализа научной литературы и протоколов машиноиспытательных станций по машинам и оборудованию для послеуборочной обработки корнеплодов и картофеля установлены основные проблемы при их проектировании и эксплуатации.

Исследованиями в данной области в нашей стране и за рубежом занимались известные ученые: К.А. Бышов, Н.И. Верещагин, В.П. Горячкин, М.Н. Ерохин, Н.Н. Колчин, Л.М. Максимова, Н.В. Пшеченков, А.А. Сорокин, Б.М. Юн, К. Baganz, Y. Tao, С.Т. Morgow, P.H. Heipemann, F.E. Sistler. Были разработаны подходы и основные о технико-технологические и конструктивные решения, направленные на повышение эффективности послеуборочной обработки корнеклубнеплодов.

В современном сельском хозяйстве известны сортировочные устройства таких фирм, как *BEST Sorting* (Бельгия), *Odenberg Ltd* (Ирландия), *Miedema BV* (Нидерланды), *Wectorscan* (Финляндия), *Samro* (Швейцария).

рия), Agrisep (Швеция). Технологическое оборудование этих фирм позволяет отделять посторонние примеси от обрабатываемой массы продукции и затем сортировать ее на классы и фракции по качеству и размеру. Существуют и сепараторы, отделяющие различные примеси, включая некондиционный материал [7-10]. Все эти машины можно использовать автономно или устанавливать в линии для послеуборочной обработки и товарной подготовки картофеля разного назначения.

В Центре ВИМ разработали конструкторскую документацию и изготовили экспериментальную линию для послеуборочного сортирования клубней картофеля производительностью 0,5 т/ч, мощностью 1,65 кВт (рис. 1). Экспериментальные и теоретические исследования направлены на определение основных функциональных показателей устройства для автоматизированной послеуборочной обработки корнеплодов и картофеля в соответствии с методикой СТО АИСТ 10.15-2013 «Испытания сельскохозяйственной техники. Машины для послеуборочной обработки картофеля. Методы оценки функциональных показателей». Использовали основы теории приема и обработки оптико-электронных систем [9].

Для автоматизации процесса обработки корнеплодов и картофеля установили универсальную веб-камеру Logitech HD Pro C920, которая с высокой детализацией сканирует объекты, и разработали принципиальную блок-схему функционирования электронной системы линии (рис. 2).

Принцип работы схемы заключается в следующем. Блок питания через кабель Type-C подает питание на микроконтроллер и микрокомпьютер. Последний через кабель USB активирует веб-камеру, которая обна-



Рис. 1. Экспериментальная линия для послеуборочной обработки корнеплодов и картофеля без средств автоматизации: 1 – загрузочный транспортер; 2 – отделитель примесей; 3 – переборочный стол

Fig. 1. Experimental line for root crops and potatoes post-harvest processing without automation:

1 – loading conveyor; 2 – separator impurities; 3 – bulkhead table

руживает и распознает корнеплоды и картофель. Полученные данные об объекте поступают обратно микрокомпьютер, где происходит их обработка и при-

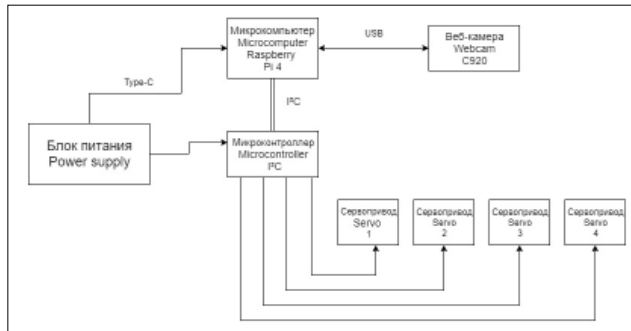


Рис. 2. Блок-схема автоматизированной линии сортирования корнеплодов и картофеля

Fig. 2. Block diagram of an automated line for sorting root crops and potatoes

нятие решения о принадлежности сканируемого объекта к размерной фракции. Далее микрокомпьютер передает сигнал в соответствии с размерной характеристикой фракции на микроконтроллер, который преобразовывает его и активирует сервоприводы.

Для определения качественных показателей технологического процесса автоматизированной обработки необходимо определить: производительность, размерно-массовые характеристики корнеплодов и картофеля, коэффициент их формы, точность сортирования на линии.

Производительность линии для послеуборочной обработки корнеплодов и картофеля w , кг/ч, определим по формуле:

$$W = 3,6 \frac{\sum_{i=1}^{n'} q_i}{t'} 10^3, \quad (1)$$

где q_i – масса i -го выхода, кг;

t' – продолжительность опыта, с;

n' – число выходов.

Размерно-массовые характеристики корнеплодов и картофеля определяем взвешиванием и измерением длины, ширины, толщины в месте наибольшего утолщения. Погрешность измерения клубней составляет ± 1 мм, погрешность взвешивания не превышает ± 1 г.

Вычислим коэффициент формы клубня:

$$K_\phi = \frac{l_k^2}{b_k c_k} 10^2, \quad (2)$$

где l_k – средняя длина клубня, мм;

b_k – средняя ширина клубня, мм

c_k – средняя толщина клубня, мм.

Определим точность сортирования корнеплодов и картофеля на линии для j -й фракции, %:

$$K_j = \frac{q_{j\text{тр}}}{q_j} 10^2, \quad (3)$$

где $q_{j\text{тр}}$ – масса корнеплодов и картофеля в j -й фракции в пределах требований по ТЗ, кг;

q_j – общая масса корнеплодов и картофеля j -й фрак-



ции в пробе, пропущенной через автоматизированную линию для послеуборочной обработки корнеплодов и картофеля, кг.

Вычислим точность сортирования корнеплодов и картофеля, %:

$$K_v = \frac{\sum_{j=1}^n K_j q_j'}{\sum q_j} \quad (4)$$

где n – число фракций;

q_j – общая масса корнеплодов и картофеля в j -й фракции, кг.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ. В процессе разработки автоматизированной линии обосновали ее конструктивные параметры и режимы работы (рис. 3). Линия для автоматизированного послеуборочного сортирования корнеплодов и картофеля состоит из приемного бункера, соединенного с передаточным транспортером, спирального очистителя вороха и транспортерного сортировочного устройства с двумя транспортерными лентами, выполненными модульно. Транспортерное сортировочное устройство имеет систему технического зрения в виде камеры с зоной покрытия всей рабочей поверхности двух транспортерных лент, блок управления, исполнительные механизмы с упруго-эластичными рабочими органами, приводимыми в действие электроприводами. Имеются лотки для отвода пораженных и поврежденных корнеклубнеплодов, а также лотки для сортировки качественной продукции по размеру. Электродвигатели приводят в движение передаточные транспортеры, спиральные очистители вороха и транспортерное сортировочное устройство.

Приемный бункер, передаточный транспортер и очиститель вороха предназначены для приема обрабатываемой продукции и подготовки ее к сортировке по размеру.

Транспортерное сортировочное устройство с двумя транспортерными лентами служит для разделения корнеклубнеплодов. Транспортерная лента имеет направленный рельеф типа елочки, что способствует более детальному считыванию камерой технического зрения основных линейных размеров и точному перемещению корнеклубнеплодов в лотки с помощью исполнительных механизмов с упруго-эластичными рабочими органами.

Исполнительный механизм в виде упруго-эластичных рабочих органов подбирается таким образом, чтобы исключить повреждение поверхности корнеклубнеплодов, но при этом создать достаточную силу для перемещения их в лотки.

Апробацию автоматизированной линии для послеуборочного сортирования корнеплодов и картофеля в период уборочных работ, обработки перед закладкой на хранение и предреализационной подготовки провели в 2019 г. в Рязанской области, с. Под-

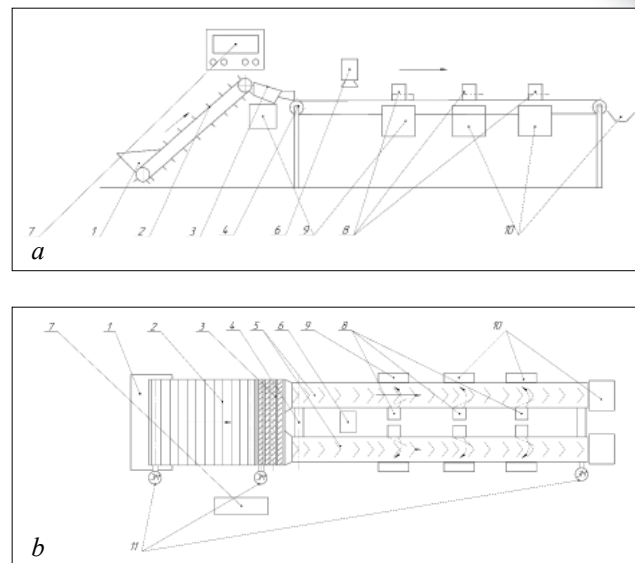


Рис. 3. Схема автоматизированного устройства для сортирования клубней картофеля

a – вид с боку; *b* – вид сверху: 1 – приемный бункер; 2 – передаточный транспортер; 3 – спиральный очиститель вороха; 4 – транспортерное сортировочное устройство; 5 – транспортерные ленты; 6 – камера; 7 – блок управления; 8 – исполнительные механизмы; 9, 10 – лотки; 11 – электродвигатели

Fig. 3. Scheme of an automated device for sorting potato tubers: *a*) side view; *b*) top view: 1 – receiving hopper; 2 – transport conveyor; 3 – spiral cleaner heap; 4 – conveyor sorting device; 5 – conveyor belts; 6 – camera; 7 – control unit; 8 – actuators; 9, 10 – trays; 11 – electric motors

вязье, на базе Института семеноводства и агротехнологий – филиала ФНАЦ ВИМ. Взяли выборку из неотсортированного вороха картофеля сорта Невский урожая 2019 г. общей массой 38 356 г. В отходы или на корм выделены 166 клубней (< 25 г) общей массой 2 811 г, 323 клубня массой 11 724 г отнесены к мелкому картофелю (25-50 г), 207 клубней массой 13 010 г представлены семенным картофелем (50-80 г), 203 клубня массой 10 811 г отнесены к фракции крупного картофеля (≥80 г). С целью повышения достоверности проводимых измерений в каждой фракции было не менее 160 клубней. Измерили линейные размеры и массу каждого клубня.

Определили состав обрабатываемого вороха: клубни картофеля – 70-85%, почвенные примеси влажностью 25-30% – 20-25%, растительные остатки – 5-10%.

Автоматизированная линия для послеуборочного сортирования корнеплодов и картофеля показала высокую производительность, технологическую эффективность и универсальность при минимальном повреждении клубней – не более 1%. При оптимальном режиме эксплуатации обеспечены надежность технологического процесса послеуборочной обработки и высокая точность разделения клубней на фракции – в пределах 95-98%. Точность сортирования обеспечена скоростью отклика упруго-эластичных рабочих

органов, приводимых в действие электроприводами на сигналы, исходящие из блока питания.

Выводы. Разработанная автоматизированная линия для послеуборочного сортирования корнеплодов и картофеля вследствие применения цифровых технологий позволяет повысить качество, а также точность сортирования клубней по размерному признаку – до 95-98%. Исключение ручной сортировки сни-

жает трудозатраты. Вследствие уменьшения количества переходов и контактов с рабочими органами повреждение клубней не превышает 1%.

«Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 19-316-90068»

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Измайлов А.Ю., Колчин Н.Н., Лобачевский Я.П., Кынев Н.Г. Современные технологии и специальная техника для картофелеводства // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2015. Т. 9. N2. С. 45-48.
2. Колчин Н.Н., Алакин В.М., Плахов С.А. Взаимодействие клубней с рабочей поверхностью виброротационной сортировки // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2014. Т. 8. N2. С. 29-33.
3. Алдошин Н.В. Исследование технологических процессов в растениеводстве при помощи методов матричного исчисления // *Вестник Федерального государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Московский государственный агроинженерный университет имени В.П. Горячкина»*. 2007. N1(21). С. 64-66.
4. Колчин Н.Н., Пономарев А.Г., Петухов С.Н. Как снизить повреждение клубней в машинных технологиях // *Картофель и овощи*. 2019. N3. С. 14-16.

5. Sibirev A.V., Aksenov A.G., Mosyakov M.A., Experimental Laboratory Research of Separation Intensity of Onion Set Heaps on Rod Elevator. *Journal of Engineering and Applied Sciences*. 2018. N23. 10086-10091.
6. Hasankhani R., Hosein N. Potato Sorting Based on Size and Color in Machine Vision System. *Journal of Agricultural Science*. 2012 Vol. 4. N5. 235-244.
7. Пшеченков К.А., Зейрук В.Н., Еланский С.Н., Мальцев С.В., Прямов С.Б. Хранение картофеля. М.: Агроспас. 2016. 144 с.
8. Noordam J.C., Otten G.W., Timmermans A.J.M., van Zwol B.H. High speed potato grading and quality inspection based on a color vision system. *Machine Vision Applications in Industrial Inspection*. 2000. VIII. 206-220.
9. Ерохин М.Н., Карп А.В., Соболев Е.И., Выскребенцев Н.А., Чавтараева Т.С., Матвеев В.А. Детали машин и основы конструирования. М.: КолосС. 2005. 462 с.

REFERENCES

1. Izmaylov A.Yu., Kolchin N.N., Lobachevskiy Ya.P., Kynev N.G. Sovremennye tekhnologii i spetsial'naya tekhnika dlya kartofelevodstva [Modern technologies and special equipment for potato growing]. *Sel'skokhozyaystvennye mashiny i tekhnologii*. 2015. Vol. 9. N2. 45-48 (In Russian).
2. Kolchin N.N., Alakin V.M., Plakhov S.A. Vzaimodeystvie klubney s rabochey poverkhnost'yu vibrorotatsionnoy sortirovki [The interaction of tubers with the working surface of the vibratory sorting]. *Sel'skokhozyaystvennye mashiny i tekhnologii*. 2014. Vol. 8. N2. 29-33 (In Russian).
3. Aldoshin N.V. Issledovanie tekhnologicheskikh protsessov v rastenievodstve pri pomoshchi metodov matrichnogo ischisleniya [The research of technological processes in crop production using matrix calculus methods]. *Vestnik Federal'nogo gosudarstvennogo obrazovatel'nogo uchrezhdeniya vysshego professional'nogo obrazovaniya «Moskovskiy gosudarstvennyy agroinzhenernyy universitet imeni V.P. Goryachkina»*. 2007. N1(21). 64-66 (In Russian).
4. Kolchin N.N., Ponomarev A.G., Petukhov S.N. Kak snizit' povrezhdenie klubney v mashinnykh tekhnologiyakh [How to

- reduce tubers damage in machine technology]. *Kartofel' i ovoshchi*. 2019. N3 14-16 (In Russian).
5. Sibirev A.V., Aksenov A.G., Mosyakov M.A. Experimental Laboratory Research of Separation Intensity of Onion Set Heaps on Rod Elevator. *Journal of Engineering and Applied Sciences*. 2018. N23. 10086-10091 (In English).
6. Hasankhani R., Hosein N. Potato Sorting Based on Size and Color in Machine Vision System. *Journal of Agricultural Science*. 2012 Vol. 4. N5. 235-244 (In English).
7. Pshechenkov K.A., Zeyruk V.N., Elanskiy S.N., Mal'tsev S.V., Pryamov S.B. Khraneniye kartofelya. [Potato storage] Moscow: Agrosplas. 2016. 144 (In Russian).
8. Noordam J.C., Otten G.W., Timmermans A.J.M., van Zwol B.H. High speed potato grading and quality inspection based on a color vision system. *Machine Vision Applications in Industrial Inspection*. 2000. VIII. 206-220 (In English).
9. Erokhin M.N., Karp A.V., Sobolev E.I., Vyskrebentsev N.A., Chavtaraeva T.S., Matveev V.A. Detali mashin i osnovy konstruirovaniya [Machine parts and design basics]. Moscow: KolosS. 2005. 462 (In Russian).

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

Статья поступила в редакцию 24.12.2019
The paper was submitted
to the Editorial Office on 24.12.2019

Статья принята к публикации 04.02.2020
The paper was accepted
for publication on 04.02.2020