

АНАЛИТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ АВТОМАТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ПОСЛЕУБОРОЧНОЙ ОБРАБОТКИ КОРНЕКЛУБНЕПЛОДОВ И ЛУКА

ДОРОХОВ Алексей Семенович, Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ
СИБИРЁВ Алексей Викторович, Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ
АКСЕНОВ Александр Геннадьевич, Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ
САЗОНОВ Николай Викторович, Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ

В работе отмечается, что применяемые технические средства автоматизации машинно-технологических комплексов производства сельскохозяйственной продукции существенно отличаются от условно принятых за идеальные, в связи с этим необходимо разработать требования к точности и достоверности измерительной информации системы автоматического контроля технических средств машинного производства лука, моркови и столовой свеклы, реализация которых позволит снизить первоначальный уровень неопределенности за счет использования информации, извлекаемой из наблюдений за управляемым объектом в процессе его нормального функционирования.

Введение. Для машинно-технологических комплексов послеуборочной обработки корнеклубнеплодов и лука разработана широкая номенклатура универсальных систем контроля режимов и показателей качества работы машин [1, 3, 7].

Данные системы предназначены для автоматического контроля частоты вращения рабочих органов и сигнализации отклонений данных параметров от нормы на основании детерминированных зависимостей, т.е. в виде функции времени.

Однако входные параметры функционирующих элементов машин для послеуборочной обработки корнеплодов и лука подчиняются стохастическим зависимостям, следовательно, автоматический контроль параметров машин происходит неудовлетворительно ввиду отсутствия возможности адаптации режимов работы отдельного функционирующего элемента изменяющимся условиям внешней среды (урожайности, влажности, твердости, скважности почвы и т.д.) [8–10].

Для устранения указанных недостатков необходима разработка системы контроля режимов работы машин для послеуборочной обработки корнеплодов и лука, принцип работы которых подчиняется стохастическому закону распределения, для чего необходимо проведение как теоретических, так и экспериментальных исследований для выполнения программирования режимов работы машины от сортовой характеристики корнеклубнеплода и условий работы [2, 4–6].

Повышение точности сортирования корнеклубнеплодов и лука ввиду ограничения возможности увеличения показателей качества известными способами возможно обеспечить использованием в конструкции машин для сортирования элементов машинного зрения, с раз-

работкой алгоритмов распознавания корнеклубнеплодов и лука на основании исследований размерно-массовых характеристик, а также системы управления технологическим процессом послеуборочной обработки.

Цель исследований – аналитическое обоснование автоматической системы контроля технологического процесса послеуборочной обработки корнеклубнеплодов и лука.

Методика исследований. Для оценки возможности повышения качества товарной продукции овощных корнеклубнеплодов и лука рассмотрим более подробно блок, определяющий послеуборочную обработку: (ОП) – отделение примесей, обрезка листьев, сортировка по фракциям.

Результаты исследований. Эффективное выполнение операций послеуборочной обработки корнеплодов и лука обеспечивается при объединении различных рабочих органов и устройств в единую технологическую линию, функциональная схема которой представлена на рис. 1 и включает в себя приемный бункер (ПБ), загрузочный транспортер (ЗТ), сепарирующий модуль (СП), сортировальный модуль (СТ), переборочный стол (ПС).

Производительность $W_{С.М.}$ сепарирующего модуля вороха корнеплодов и луковиц – количество луковиц сепарируемых в единицу времени.

Производительность $W_{С.М.}$ сепарирующего модуля вороха корнеплодов и луковиц (рис. 2) определяется, с одной стороны, производительностью $W_{П.Т.}$ подачи, связанной с поступательной скоростью движения ленты питающего транспортера; с другой стороны производительностью $W_{О.В.}$ очистителя вороха корнеклубнеплодов и луковиц, т.е.:



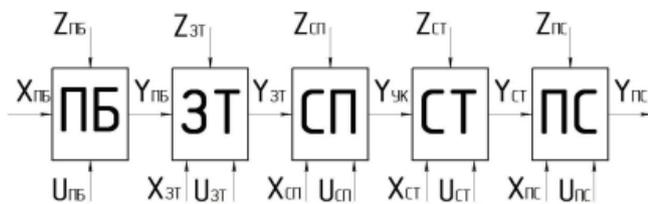


Рис. 1. Функциональная схема послеуборочной обработки корнеплодов и лука: ПБ – бункер приемный; ЗТ – транспортер загрузочный; СП – модуль сепарирующий; СТ – модуль сортирующий; ПС – стол переборочный; ХПБ, ХЗТ, ХСП, ХСТ и ХПС – функции внешнего бункера приемного, транспортера загрузочного, модуля сепарирующего, модуля сортирующего, переборочного стола; ЗПБ, ЗЗТ, ЗСП, ЗСТ и ЗПС – функция состояния бункера приемного, транспортера загрузочного, модуля сепарирующего, модуля сортирующего, переборочного стола; УПБ, УЗТ, УСП, УСТ и УПС – функции управляющего воздействия бункера приемного, транспортера загрузочного, модуля сепарирующего, модуля сортирующего, переборочного стола; YПБ, YЗТ, YСП, YСТ и YПС – результирующие параметры бункера приемного, транспортера загрузочного, модуля сепарирующего, модуля сортирующего, переборочного стола

$$W_{\text{С.М}} = W_{\text{П.Т}} + W_{\text{О.В}}, \quad (1)$$

где $W_{\text{П.Т}}$ – производительность питающего транспортера, кг/с; $W_{\text{О.В}}$ – производительность очистителя вороха корнеплодов и луковиц, кг/с.

$$W_{\text{П.Т}} = \rho_{\text{л}} v_{\text{П.Т}} B_{\text{П.Т}} L_{\text{П.Т}}, \quad (2)$$

где $\rho_{\text{л}}$ – объемная масса вороха лука, кг/м³; $v_{\text{П.Т}}$ – поступательная скорость движения ленты питающего транспортера, м/с; $B_{\text{П.Т}}$ – ширина ленты питающего транспортера, м; $L_{\text{П.Т}}$ – рабочая длина ленты питающего транспортера, м.

Для качественного выполнения технологичес-

кого процесса сепарации вороха луковиц на сепарирующем модуле необходимо соблюдение условия:

$$W_{\text{П.Т}} < W_{\text{О.В}}. \quad (3)$$

Производительность очистителя вороха корнеплодов и луковиц определяется по выражению:

$$W_{\text{О.В}} = v_{\text{О.В}} z_{\text{О.В}} \rho_{\text{л}}, \quad (4)$$

где $v_{\text{О.В}}$ – линейная скорость сепарирующих вальцов, м/с; $z_{\text{О.В}}$ – количество сепарирующих вальцов, шт.

$$v_{\text{О.В}} = \omega_{\text{О.В}} \cdot R_{\text{О.В}} = \frac{\pi \cdot n_{\text{О.В}}}{30} \cdot R_{\text{О.В}}, \quad (5)$$

где $\omega_{\text{О.В}}$ – угловая скорость сепарирующих вальцов, рад/с; радиус сепарирующих вальцов, м; $\pi \cdot n_{\text{О.В}}$ – частота вращения сепарирующих вальцов, мин⁻¹.

Таким образом, согласно полученным аналитическим зависимостям (4) и (5) условие (3) качественного выполнения технологического процесса сепарации вороха лука-севка запишется в виде:

$$v_{\text{П.Т}} B_{\text{П.Т}} L_{\text{П.Т}} < \frac{\pi n_{\text{О.В}}}{30} \cdot R_{\text{О.В}} z_{\text{О.В}}. \quad (6)$$

Выражение (5) позволяет обосновать частоту вращения $n_{\text{О.В}}$ очистителя вороха при различной ширине $B_{\text{П.Т}}$ и рабочей длине $L_{\text{П.Т}}$ питающего транспортера, а также радиусе $R_{\text{О.В}}$ и количестве $z_{\text{О.В}}$ сепарирующих вальцов:

$$n_{\text{О.В}} > \frac{30 \cdot v_{\text{П.Т}} \cdot B_{\text{П.Т}} \cdot L_{\text{П.Т}}}{\pi \cdot R_{\text{О.В}} \cdot z_{\text{О.В}}}. \quad (7)$$

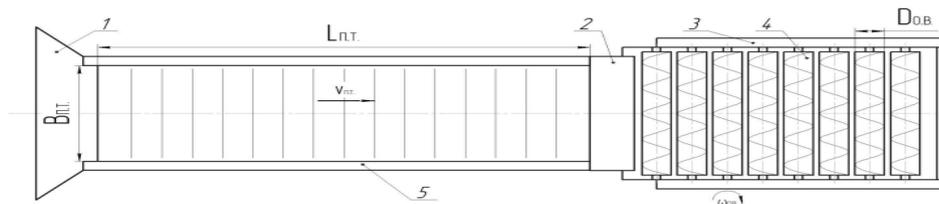


Рис. 2. Конструктивно-технологическая схема сепарирующего модуля вороха корнеплодов и луковиц: 1 – лоток приемный; 2 – лоток скатной; 3 – очиститель вороха; 4 – вальцы сепарирующие; 5 – транспортер питающий

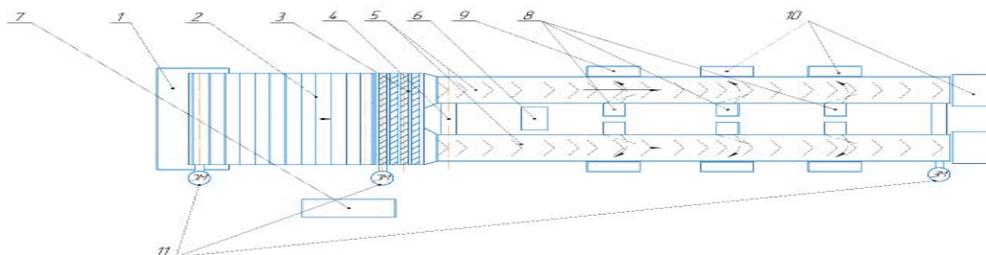


Рис. 3. Конструктивно-технологическая схема линии для сортирования корнеклубнеплодов и лука с системой автоматического контроля режимных и технологических параметров: 1 – приемный бункер; 2 – передаточный транспортер; 3 – спиральный очиститель вороха; 4 – транспортное сортировочное устройство; 5 – транспортерные ленты; 6 – камера; 7 – блок управления; 8 – исполнительные механизмы; 9, 10 – лотки; 11 – электродвигатели





Следующей технологической операцией после уборочной обработки корнеплодов и лука согласно функциональной схемы, которая представлена на рис.3 является сортирование товарной продукции на фракции в соответствии с агротехническими требованиями, на технологических адаптерах, представленных сортировальным модулем (СТ) и переборочным столом (ПС).

Важным показателем, характеризующим качество работы сортирующих устройств, при послеуборочной доработке корнеплодов и лука является точность разделения луковиц по размерам – фракциям.

При разделении луковиц по размерным признакам качество работы сортирующей поверхности определяется теоретически возможной точностью сортирования, которая зависит от сорта лука, размерного признака для разделения, фракционного состава, а также конструктивных особенностей рабочих органов.

Практическую реализацию в механических сортировках нашли следующие размерные признаки корнеклубнеплода – ширина, толщина и S-размер, что отражено в конструкции рабочих поверхностей в виде решет, сеток, продольных ремней, роликов различной конфигурации и др.

Каждому типу рабочей поверхности соответствует определенная форма и размеры калибрующих отверстий: для разделения корнеклубнеплодов по толщине – продолговатые и щелеобразные; по ширине – круглые, по S-размеру – квадратные, в том числе с регулируемым размером ячейки и т.д.

Теоретически возможную точность сортирования конкретного сорта лука по принятому размерному признаку можно определить по размерно-массовым вариационным диаграммам или корреляционным таблицам, составленным для этого сорта при данной урожайности и производительности сортирующих устройств.

В процессе послеуборочной обработки корнеклубнеплодов и лука применяют механические сортировки различных типов, позволяющие разделять материал по размерному признаку и отводить примеси.

Основное требование к данному оборудованию – это обеспечение необходимого качества и надежности выполнения технологических процессов выделения примесей и разделение корнеплодов и картофеля на фракции при минимальном повреждении клубней.

Наиболее распространенные в нашей стране роликовые и решетчатые машины для послеуборочной обработки корнеклубнеплодов и лука имеют ряд недостатков, основным из которых является – снижение качества сортирования вследствие загрязнения рабочих органов, что приводит к потерям при сортировании и хранении.

Для получения качественной конкурентоспособной продукции необходимо в процессе сортирования совместить ряд технологических операций, таких как деление материала на классы и фракции по качеству и размеру, выявление и отвод поврежденной и товарной продукции.

С целью повышения качества сортирования корнеклубнеплодов и лука по размерному при-

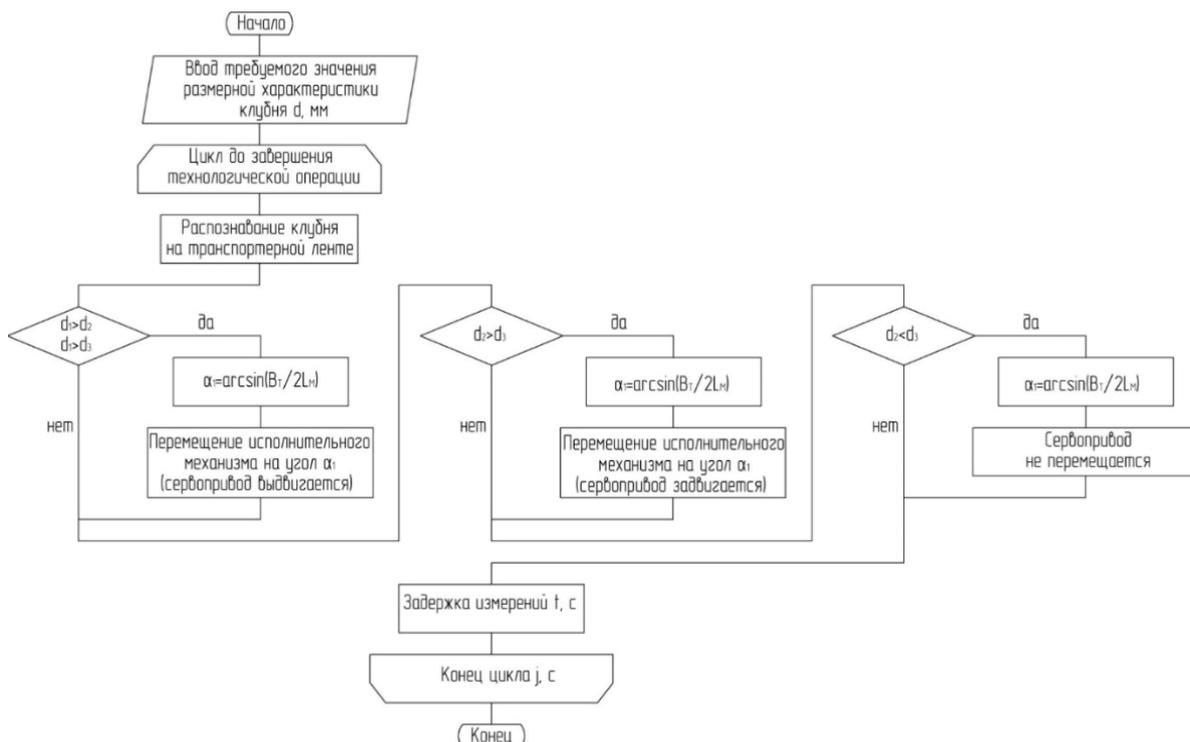


Рис.4. Блок-схема алгоритма работы машины автоматизированной системой сортирования корнеклубнеплодов и лука

знаку необходимо обеспечить разработку системы автоматического контроля режимных и технологических параметров, применение которой позволит исключить ручное сортирование на переборочных столах линии для послеуборочной обработки.

Для выполнения данного положения, разрабатываемая система автоматического контроля должна обладать отличительной особенностью, а именно: возможностью идентификации материала на сортирующей поверхности с учетом внешних его повреждений и автоматическим отводом примесей.

Для обеспечения перемещения исполнительного механизма разработан алгоритм работы машины автоматизированной системой сортирования клубней картофеля и лука (рис.4).

Для распознавания некондиционной товарной продукции над транспортерными лентами 5 установлена универсальная веб-камера «Logitech HD Pro C920», которая с высокой детализацией сканирует объекты, и разработана принципиальная блок-схема функционирования электронной системы линии (рис. 5).

Имеются лотки для отвода поврежденных корнеклубнеплодов и луковиц, 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

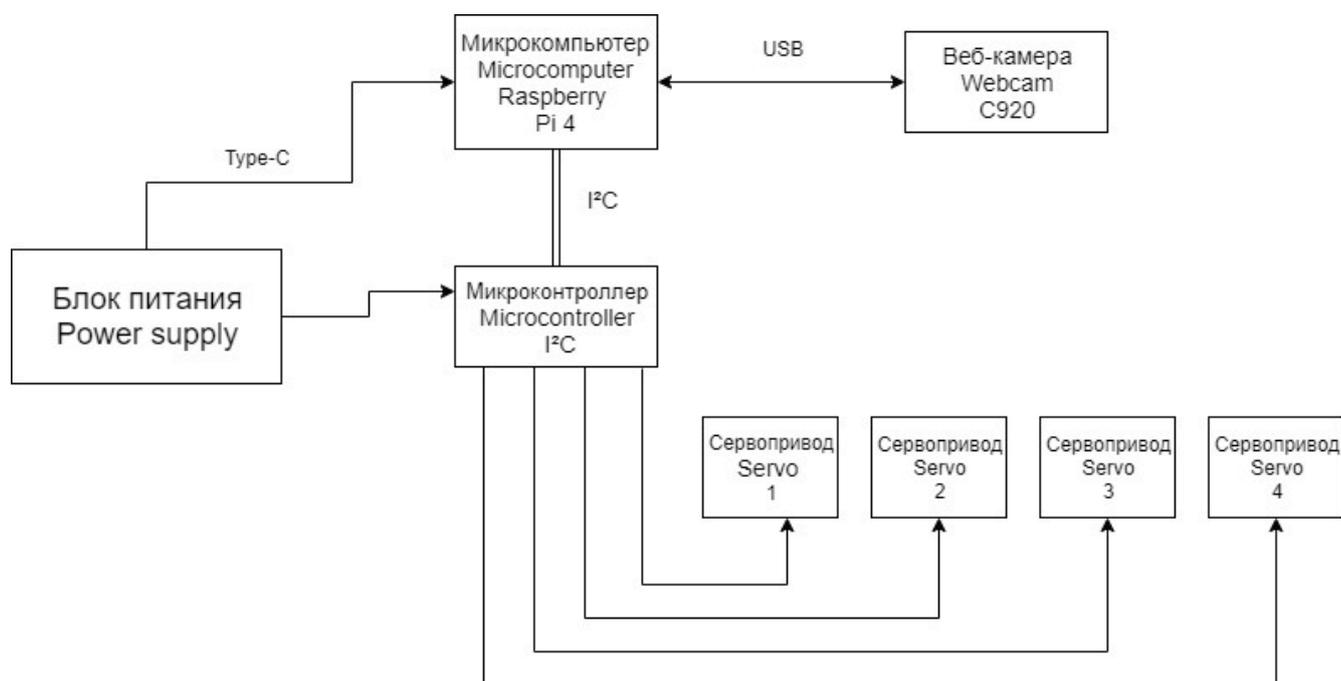


Рис. 5. Блок-схема автоматизированной линии сортирования корнеклубнеплодов и лука

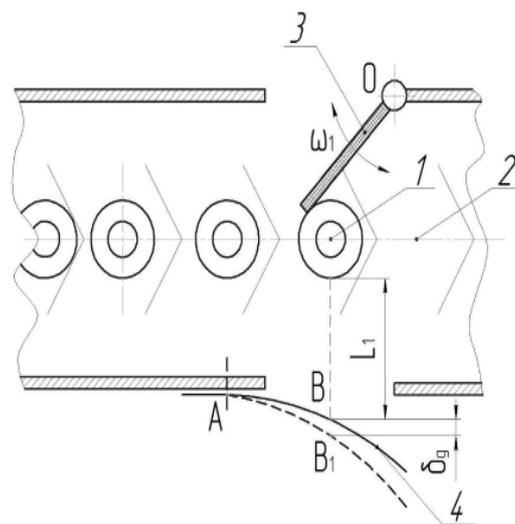


Рис. 6. Взаимодействие луковичи с исполнительным механизмом: 1 - луковича; 2 - лента транспортерная; 3 - механизм исполнительный; 4 - лоток упругий

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, выполненный в виде упруго-эластичных рабочих органов необходимо выбрать таким образом, чтобы исключить повреждение корнеклубнеплодов и луковиц, но при этом создавать достаточную силу для перемещения их в лотки (рис. 6).

Принятое техническое решение позволяет иметь повышенную жесткость у основания лотка, снизить его вес. Это важно для лучшей амортизации.

тизации удара при взаимодействии луковицы с исполнительным механизмом.

Заключение. Разработана и обоснована система автоматического контроля линии для послеуборочной обработки лука, которая позволяет обеспечить повышение показателей качества сортирования луковиц в результате использования системы технического зрения в виде камеры с зоной покрытия всей рабочей поверхности двух транспортерных лент, блока управления, исполнительных механизмов с упруго-эластичными рабочими органами, приводимыми в действие электроприводами.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аксенов А.Г., Сибирёв А.В., Емельянов П.А. Обеспеченность техникой для овощеводства // Тракторы и сельхозмашины. – 2016. – № 8 – С. 25–30.
2. СТО АИСТ 8.7 – 2013 «Машины для уборки овощных и бахчевых культур. Методы оценки функциональных показателей». – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/555625983>.
3. Aniket U. Dongre, Rahul Battase, SarthakDudhale, Vipul R. Patil, Deepak Chavan(2017), Development of Potato Harvesting Model, International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET). Iss.4, p. 1567-1570, Tamilnadu / India.
4. Asghar M. Tauseef, Ghafoor Abdul, MunirAnjum, Iqbal Muhammad, AhmadManzoor. Design modification and field testing of groundnut digger, Asian Journal of Science and Technology, 2014. Iss.5, p. 389-394, Sofia / Bulgaria.
5. Dorokhov A.S., Sibirev A.V., Aksenov A.G. Results of laboratory investigations of soil screening ability of a chain digger with asymmetric vibrator arrangement // INMATEH – Agricultural Engineering. 2019. No. 1. (57). p. 9–18.

6. Dorokhov A.S., Aksenov A.G., Sibirev A.V. Methodological justification of dynamic systems model construction by artificial neural networks // INMATEH – Agricultural Engineering. 2019. No. 2. (58). p. 63-75.

7. Farhadi R., Sakenian N., Azizi P. Design and construction of rotary potato grader, Bulgarian Journal of Agricultural Science. 2012. Iss.2, pp. 304-314, Sofia / Bulgaria.

8. Haverkort A.J., Struik P.C. Potato in progress: science meets practice: Ed. by: 2005. 366 p. Wageningen Academic Publishers, Netherlands.

9. Mayer V., Vejchar D., Pastorkova L. Measurement of potato tubers resistance against mechanical loading, Research in Agricultural Engineering, 2017. Iss.2, p. 22-31, Praha / Czech Republic.

10. Natenadze N. The design and theoretical justification of a vibratory digger shovel, Scientific technical union of mechanical engineering Bulgarian association of mechanization in agriculture, 2016. Iss.5, p. 9-12, Sofia / Bulgaria.

Дорохов Алексей Семенович, д-р техн. наук, член-корреспондент РАН, Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ, Россия.

Сибирёв Алексей Викторович, д-р техн. наук, старший научный сотрудник, Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ, Россия.

Аксенов Александр Геннадьевич, канд. техн. наук, Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ, Россия.

Сазонов Николай Викторович, младший научный сотрудник, Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ, Россия.

109428, г. Москва, 1-й институтский пр-д, 5.
Тел.: (499) 171-43-49.

Ключевые слова: послеуборочная обработка; силовое воздействие; корнеклубнеплоды; рабочие органы; машина для сортирования.

ANALYTICAL JUSTIFICATION OF THE AUTOMATIC CONTROL SYSTEM OF THE TECHNOLOGICAL PROCESS OF POST-HARVESTING ROOT AND ONION

Dorokhov Alexei Semenovich, Doctor of Technical Sciences, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Federal State Scientific Agroengineering Center VIM. Russia.

Sibiriev Aleksey Viktorovich, Doctor of Technical Sciences, Senior Researcher, Federal State Scientific Agroengineering Center VIM. Russia.

Aksenov Alexander Gennadievich, Candidate of Technical Sciences, Federal State Scientific Agroengineering Center VIM. Russia.

Sazonov Nikolay Viktorovich, Junior Researcher, Federal State Scientific Agroengineering Center VIM. Russia.

Keywords: post-harvest processing; force impact; root and tuber crops; working bodies; sorting machine.

It is marked that the applied technical means of automation of machine-technological complexes for the production of agricultural products differ significantly from those conventionally taken as ideal, in this regard, it is necessary to develop requirements for the accuracy and reliability of the measuring information of the automatic control system of technical means of machine production of onions, carrots and beets, the implementation of which will allow reduce the initial level of uncertainty through the use of information extracted from observations of the controlled object in the course of its normal functioning.

