

В.В. Голдыбан, Г.А. Прокопович, М.И. Курилович, Л.А. Ходасевич

РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства»

ГНУ «ОИПИ НАН Беларуси»

г. Минск, Республика Беларусь

e-mail: labpotato@mail.ru

РЕЗУЛЬТАТЫ РАЗРАБОТКИ МАКЕТНОГО ОБРАЗЦА АВТОМАТИЧЕСКОЙ СОРТИРОВАЛЬНОЙ МАШИНЫ

В статье приведено описание макетного образца автоматической сортировальной машины, предназначенной для распознавания внешних дефектов клубней картофеля и их автоматической инспекции струей сжатого воздуха. Процесс распознавания состоял из трёх основных модулей: сегментации, трекинга движущегося в кадре по конвейеру картофеля и классификации с помощью обученной искусственной нейронной сети. Для сегментации клубней картофеля на фоне транспортирующего конвейера в режиме реального времени использован метод, основанный на вычислении цветового порога. Для трекинга движущихся клубней картофеля использовался алгоритм центроидного трекинга. Для обучения искусственной нейронной сети был создан собственный набор данных, состоящий из изображений товарных и дефектных клубней картофеля.

Ключевые слова: клубень картофеля, дефект, автоматическая сортировка, машинное зрение.

V. V. Goldyban, R.A. Prakapovich, M. I. Kurylovich, L.A. Khadasevich

RUE «SPC NAS of Belarus for Agriculture Mechanization»

SSI «UIIP NAS of Belarus»

Minsk, Republic of Belarus

e-mail: labpotato@mail.ru

THE RESULTS OF THE DEVELOPMENT OF THE MODEL OF THE AUTOMATIC SORTING MACHINE

The article describes a prototype of an automatic sorting machine designed to recognize external defects in potato tubers and automatically inspect them with a jet of compressed air. For the segmentation of potato tubers against the background of the transporting conveyor in real time, a method based on background subtraction was used. To improve the reliability of recognition of moving potato tubers, a tracking algorithm is proposed.

Keywords: club potato, defect, automatic sorting, machine vision.

Введение

Товарную подготовку картофеля проводят после хранения перед реализацией продукции. Это трудоемкая работа, на ее выполнение уходит от 30 до 70 % всех трудозатрат, связанных с уборкой, хранением и реализацией продукции.

Обязательной операцией при товарной обработке является сортирование, во время которого разделяют продукцию на группы по качеству, в зависимости от имеющихся дефектов. Эту операцию проводят визуально. Вручную отбирают дефектную продукцию, которую проще выделить в движущемся потоке. Отечественной промышленностью сортирование ведут на переборочных столах и машинах, обеспечивающих не только продольное перемещение, но и поворот продукции, что позволяет лучше ее осмотреть при отборе.

Использование автоматических сортировальных машин для идентификации и отделения некондиционных клубней картофеля из общего вороха позволит улучшить результаты проверки, повысить производительность и качество получаемого продукта.

Основанная часть

В настоящее время сортировка некондиционных клубней картофеля для последующей товарной реализации выполняется на переборочных столах. Ворох картофеля, поступающий на

сортирующие устройства, представляет собой смесь товарных и дефектных клубней. Задача сортировки заключается в разделении дефектных клубней от общей поступающей массы картофеля согласно предъявляемым требованиям к обрабатываемой продукции ГОСТ 26832-86-2010 [1]. Для сортировки продовольственного картофеля РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства», при участии «ОИПИ НАН Беларуси», разработан и изготовлен макетный образец автоматической сортировальной машины, принципиальная схема которого представлена на рис. 1.

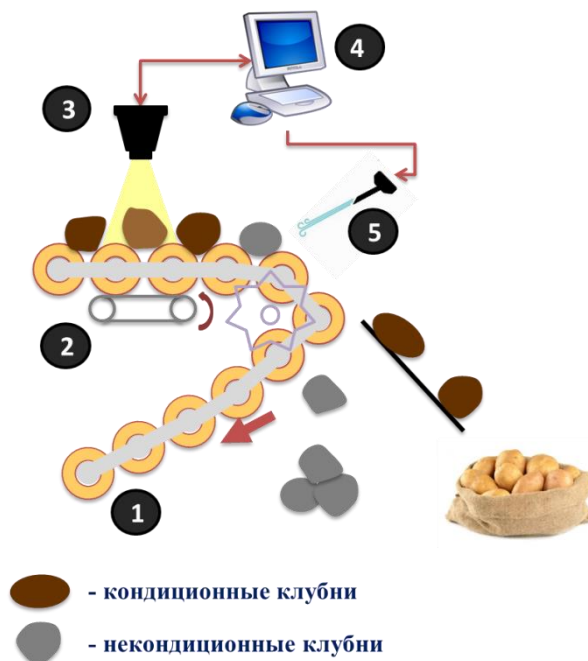


Рис. 1. Принципиальная схема макетного образца автоматической сортировальной машины

*1 – вальцово-подающий конвейер; 2 – приводной ремень; 3 – промышленная скоростная видеокамера;
4 – вычислительный модуль в виде компьютера; 5 – система отделения*

Она состоит из рамы, вальцово-подающего конвейера, механизмов привода, системы распознавания, состоящей из видеокамеры и персонального компьютера, и пневматической системы отделения.

Рама установки выполнена из конструкционного алюминиевого профиля для создания определённой прочности и жёсткости конструкции, и удобства монтажа на неё основных узлов установки и электрооборудования.

Вальцово-подающий конвейер представляет собой бесконечный тяговый рабочий орган с закрепленными на нем вальцами (рис. 2). Рабочая поверхность вальцов выполнена в виде однополосного гиперболоида вращения. Параметры вальцово-подающего конвейера: длина $l = 160 \text{ мм}$, максимальный диаметр $d_{\text{max}} = 70 \text{ мм}$, минимальный диаметр $d_{\text{min}} = 60 \text{ мм}$, зазором между вальцами $c = 21 \text{ мм}$, количество вальцов – 36. Вальцовый конвейер предназначен для транспортировки и вращения клубней картофеля.

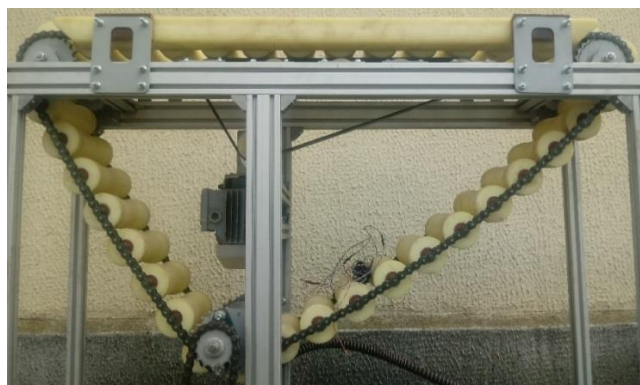


Рис. 2. Вальцовый конвейер

Привод вальцового конвейера осуществляет мотор-редуктор посредством цепной передачи.

Для вращения клубней в зоне системы распознавания предусмотрен механизм привода валцов (рис. 3), который состоит из мотор-редуктора, приводного ремня 1, шкивов 2. Вальцы, в области механизма привода, вращаются посредством трения о приводной ремень. Частота вращения валцов регулируется посредством мотор-редуктора.

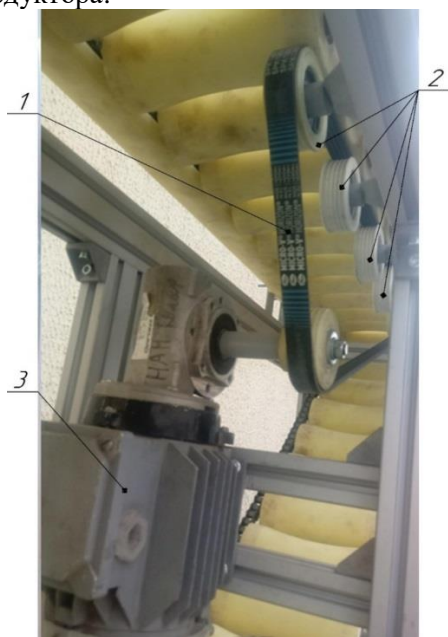


Рис. 3. Механизм привода валцов
1 – ремень приводной; 2 – шкивы; 3 – мотор-редуктор

Пневматическая система отделения некондиционных клубней картофеля состоит из электронного блока управления 1, импульсного клапана 2, форсунки 3, компрессора 4 (рис. 4). Она предназначена для отделения некондиционных клубней картофеля струёй сжатого воздуха.

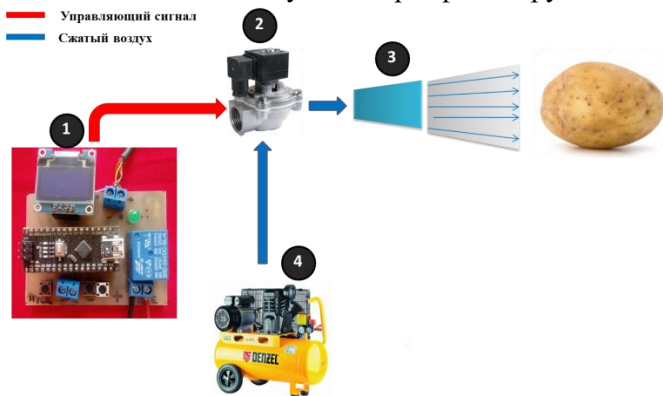


Рис. 4. Схема пневматической системы отделения
1 – электронный блок управления; 2 – импульсный клапан; 3 – форсунка; 4 – компрессор

Импульсный клапан осуществляет кратковременную подачу воздуха. Для управления режимом работы импульсного клапана специально изготовлен электронный управляющий блок, который подключён к вычислительному модулю через виртуальный СОМ-порт. Блок управления позволяет установить необходимую длительность открытия клапана.

Система распознавания состоит из механического защищенного корпуса, высокоскоростной камеры, вычислительного модуля, структурированной подсветки, модуля коммуникации с пневматической системой отделения. Она предназначена для распознавания дефектов клубней картофеля и выдачи сигнала исполнительному устройству (рис. 5).

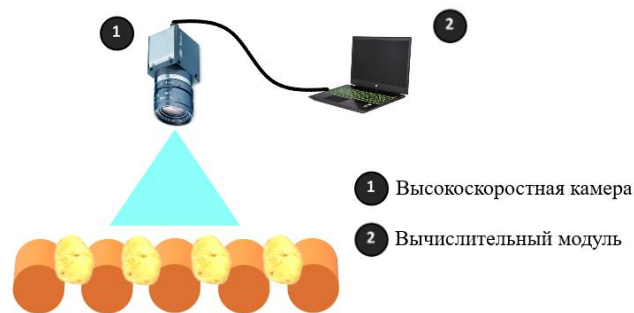


Рис. 5. Схема системы распознавания

Основной задачей системы распознавания является формирование выдача блоку управления автоматической сортировальной машины данных, содержащих информацию о кондиции клубня картофеля и номер его позиции на линейном транспортёре. Эта информация используется для активизации пневмоклапана, установленного на транспортёре.

Механический защищённый корпус представляет собой составное каркасное изделие. Корпус предназначен для выполнения следующих функций:

- фиксации видеокамеры машинного зрения и структурированной подсветки на определенном расстоянии от вальцового конвейера, перемещающего клубни картофеля;
- перекрытие доступа попадания на анализируемый видеокамерой машинного зрения картофель стороннего света, кроме собственной структурированной подсветки.

Для захвата и передачи графических изображений, движущихся на транспортёре клубней картофеля в вычислительный модуль для последующего их анализа с целью определения их кондиции, используется видеокамера машинного зрения. Видеокамера машинного зрения состоит из блока высокоскоростной промышленной видеокамеры, имеющего пыле- и влагозащищённый корпус с креплениями, и оптического объектива с механической настройкой резкости. Блок высокоскоростной видеокамеры имеет промышленные разъёмы для подключения электропитания и информационного канала, которые выходят из защищенного механического корпуса через специальные отверстия.

Структурированная подсветка предназначена для равномерного освещения рабочей области, необходимого для правильного функционирования изделия, и включает линейный светодиодный модуль и источник электропитания светодиодного модуля напряжением 24 В. Учитывая требования к системе распознавания в качестве структурированной подсветки было решено использовать современные светодиодные ленты, обладающие рядом положительных характеристик. Технические характеристики линейного светодиодного модуля представлены в табл. 1.

Т а б л и ц а 1. – Параметры светодиодного модуля

Характеристика	Значение
Цвет свечения	Тёплый белый
Тип светодиодов	Smd 3528
Количество светодиодов на 1 м	240
Класс защиты IP	IP65
Напряжение питания, В	24
Потребляемая мощность, Вт/м	75

В качестве блока высокоскоростной видеокамеры была выбрана видеокамера машинного зрения VCXU-13С, которая размещена в механическом защищенном корпусе размером 800 мм х 360 мм х 490 мм, скорость съёмки 222 кадров/с. Электропитание совмещено с информационными каналами и подаётся по интерфейсу USB 3.0.

В качестве оптического объектива для высокоскоростной камеры был выбран объектив 0814ММ-С со следующими параметрами: оптимальный размер прибора с зарядовой связью матрицы $2Mn$ и $1/2''$, фокусное расстояние $f=8$ мм, диафрагма $F1.4$, тип крепления к камере C-mount.

Учитывая требования функционирования оптической системы распознавания, в качестве вычислительного модуля был выбран ноутбук HP Pav Gaming 15, оснащённый дискретной видеокартой NVidia.

Преобразователь частоты Mitsubishi A700 задает параметры работы приводных механизмов макетного образца автоматической сортировальной машины.

Для сегментации изображения, т.е. отделения изображений картофеля от конвейера, который в данном случае является фоном, был выбран алгоритм сегментации по цветовому порогу.

Так как конвейер светлый, а картофель тёмный, то можно подобрать пороговое значения, при котором пиксели ниже заданного порога будут относиться к картофелю, а пиксели выше заданного порога будут принадлежать конвейеру. Бинарное изображение, полученное после применения порогового значения $\text{thresh} = 170$, показано на рисунке 6.

Проблема бинаризации изображения конвейера по порогу состоит в том, что яркость теневых участков конвейера и яркость картофеля совпадают. Кроме этого, промежутки между валиками имеют низкую яркость, что также отмечается алгоритмом как картофель. Для преодоления этого недостатка используется следующий алгоритм:

- посчитать сумму пикселей в каждой строке маски анализируемого изображения;
- если эта сумма меньше заданной минимальной ширины картофеля в пикселях, то такая строка считается принадлежащей конвейеру и помечается нулевыми значениями (фон);
- применить морфологические преобразования.

Результат применения такого алгоритма показан на рис. 7. На маске изображения конвейера с картофелем остались артефакты фона. Они удаляются путём анализа площади связанных компонентов. Если площадь ниже порогового значения, то такой компонент относится к конвейеру, иначе – к картофелю.



Рис. 6. Результат пороговой сегментации картофеля



Рис. 7. Результат применения алгоритма сегментации, основанного на анализе яркости изображения

Для окончательного принятия решения о качестве картофеля сравнивается несколько его проекций. В результате, пока картофель проходит в рабочей зоне видеокамеры машинного зрения, он успевает попасть на несколько её кадров. Чтобы не перепутать клубни картофеля между собой, потребовалось сопоставлять информацию, полученную по различным последовательным кадрам. Для этого в систему встроены алгоритм центроидного трекинга движущихся клубней картофеля.

На вход алгоритма трекинга поступает набор координат прямоугольников, ограничивающих клубни картофеля. Алгоритм трекинга учитывает информацию, сгенерированную им для предыдущего кадра видеопоследовательности (если он не первый), и выдаёт каждому ограничивающему прямоугольнику текущего кадра уникальный номер (назначает ИД). Тем самым алгоритм сопоставляет картофель на двух кадрах, т.е. позволяет идентифицировать один и тот же картофель на разных кадрах как один, а не как несколько разных. Это позволяет «не выпускать из виду» клубни картофеля в процессе их движения по всей рабочей области видеокамеры машинного зрения. На рис. 9 приведена блок-схема работы алгоритма трекинга движущихся клубней картофеля.

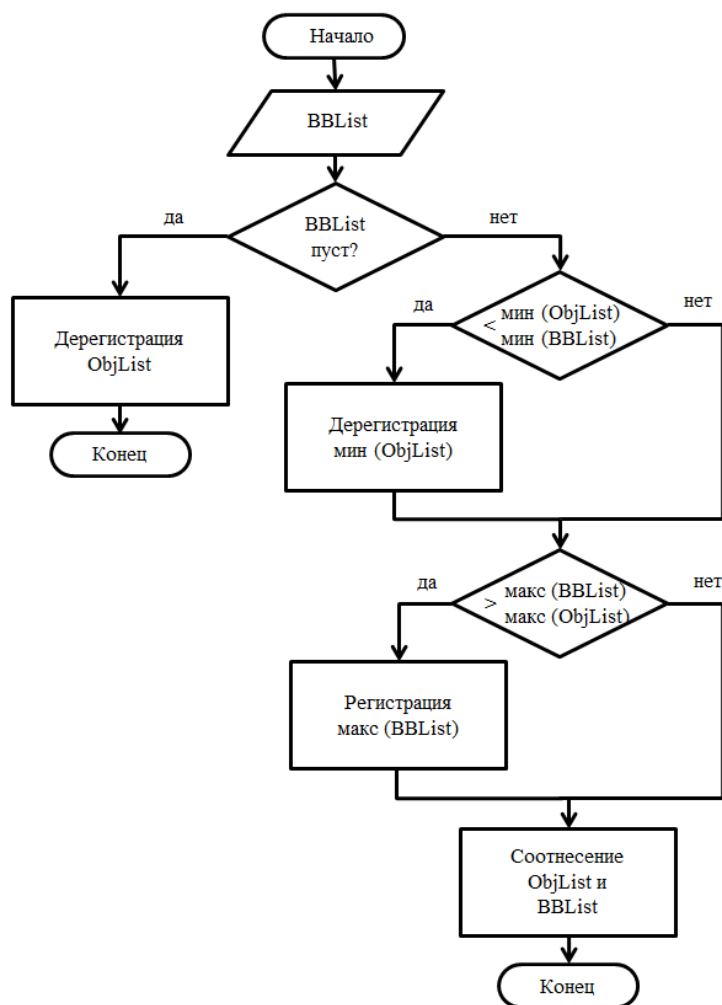


Рис. 9. Блок-схема алгоритма трекинга движущихся клубней картофеля

Здесь $BBList$ обозначает список координат ограничивающих прямоугольников (x_1, y_1, x_2, y_2) , являющихся условной границей выделенных клубней и поступающих на вход алгоритма; $ObjList$ – список объектов (ИД id и координат ограничивающих прямоугольников (x_1, y_1, x_2, y_2)), сгенерированный алгоритмом трекинга для предыдущего кадра; $мин (ObjList)$ ($макс (objList)$) обозначает, что из списка координат ограничивающих прямоугольников выбирается наименьшая координата левого нижнего угла прямоугольника (наибольшая координата правого нижнего угла). Регистрация объекта обозначает присвоение ему нового ИД и включение его в список объектов, deregistration – удаление объекта из списка объектов, соотнесение объектов означает присвоение объектам текущего кадра ИД, который выбираются из списка ИД объектов предыдущего кадра. Результат работы алгоритма трекинга объектов приведён на рис. 10.

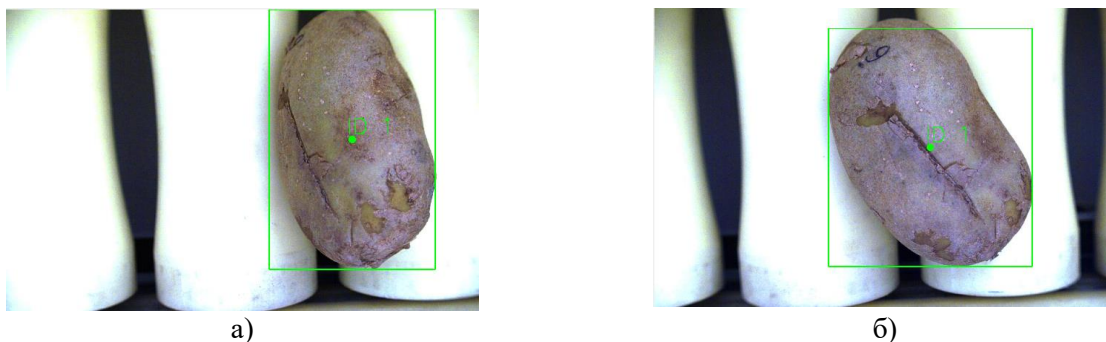


Рис. 10. Результат работы алгоритма трекинга объектов

а) и б) – изображения одного и того же картофеля на соседних кадрах видеопоследовательности

Алгоритм трекинга клубней картофеля обладает высокой скоростью работы, которая намного меньше скорости работы алгоритма сегментации.

Процесс классификации выделенного на конвейере картофеля реализован с помощью нейросетевого классификатора.

Принцип действия разработанного макетного образца автоматической сортировальной машины заключается в следующем:

Картофель, поступая на вальцовый подающий конвейер, перемещается в зону распознавания, где ему придается вращение посредством ременного привода (рис. 3). Клубни картофеля обрабатываются компьютерной программой. Идентифицированные клубни как некондиционные, перемещаясь вальцовым транспортирующим устройством к системе отделения, удаляются с вальцового конвейера струей сжатого воздуха. Неотделённые клубни продолжают движение по технологической линии. Время, между моментом идентификации некондиционного клубня разрабатываемой системы распознавания и подачей последующего единичного сигнала для удаления задаётся исходя из геометрических и скоростных характеристик вальцового подающего устройства.

Внешний вид макетного образца автоматической сортировальной машины представлен на рис. 11.



Рис. 11. Макетный образец автоматической сортировальной машины

1 – рама; 2 – вальцово-подающий конвейер; 3 – пневматическая система отделения; 4 – компрессор; 5, 6 – мотор-редуктор; 7 – система распознавания; 8 – приводной ремень.

Техническая характеристика макетного образца автоматической сортировальной машины представлена в табл. 2.

Т а б л и ц а 2. – Техническая характеристика макетного образца автоматической сортировальной машины

Наименование показателя	Значение показателя
Тип машины	стационарная
Количество анализируемых рабочих потоков, шт.	1
Скорость движения подающего устройства, м/с	0,6
Рабочая длина зоны распознавания, м	0,55
Рабочее напряжение электросети механической части установки, В	380

Допустимое количество ошибок распознавания, %	3
Диаметр форсунки, мм	5
Рабочее давление в пневмосистеме, кПа	500
Время открытия воздушного клапана, с	0,6
Расстояние от сопла форсунки до середины вальца, мм	80
Производительность, т/ч	2,5

Проведены экспериментальные исследования, которые позволили определить оптимальные параметры основных модулей макетного образца: рабочее давление в пневмосистеме 500 кПа, время открытия воздушного клапана 0,6 с, расстояние от сопла форсунки до середины вальца 80 мм, при этом точность сортирования составила 99 %.

Заключение

Разработан макетный образец автоматической сортировальной машины, в основу работы которого положена концепция интеллектуального анализа данных, согласно которой полученные с видеокамеры изображения клубней картофеля обрабатываются и формируются в образы с последующим распознаванием и выдачей сигнала исполнительному устройству системы автоматической инспекции, в виде единичного импульсного сигнала при определении клубня как некондиционного.

Список использованных источников

1. Картофель свежий для переработки на продукты питания. Технические условия : ГОСТ 26832-86-2010. – Введ. 06.01.1987. – М. : Стандартинформ, 2010

УДК: 631.415.1

Поступила в редакцию 27.07.2020
Received 27.07.2020

Э.В. Дыба, В.В. Микульский

*РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства»
г. Минск, Республика Беларусь
e-mail: dibua-18@mail.ru*

**ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ СЫРОМОЛОТОГО ДОЛОМИТА
И ДЕФЕКТА ПРИ ИЗВЕСТКОВАНИИ ПОЧВ**