

УДК 631.171: 632.08: 632.931: 004.932.2

Научная статья



Открытый доступ

DOI: 10.32634/0869-8155-2025-395-06-148-155

В.С. Тетерин ✉
Н.С. Панфёров
А.Ю. Овчинников
С.А. Пехнов
Д.Д. Кондрахов

Федеральный научный
 агроинженерный центр
 ВИМ, Москва, Россия

✉ v.s.teterin@mail.ru

Поступила в редакцию: 27.02.2025
 Одобрена после рецензирования: 10.05.2025
 Принята к публикации: 25.05.2025

© Тетерин В.С., Панфёров Н.С.,
 Овчинников А.Ю., Пехнов С.А.,
 Кондрахов Д.Д.

Research article



Open access

DOI: 10.32634/0869-8155-2025-395-06-148-155

Vladimir S. Teterin ✉
Nikolay S. Panferov
Alexey Yu. Ovchinnikov
Sergey A. Pehnov
Daniil D. Kondrakhov

Federal Scientific Agroengineering
 Center VIM, Moscow, Russia

✉ v.s.teterin@mail.ru

Received by the editorial office: 27.02.2025
 Accepted in revised: 10.05.2025
 Accepted for publication: 25.05.2025

© Teterin V.S., Panferov N.S., Ovchinnikov A.Yu.,
 Pehnov S.A., Kondrakhov D.D.

Обоснование цифровой системы идентификации инфекционных заболеваний и удаления зараженных растений картофеля

РЕЗЮМЕ

Актуальность. Важную роль в селекции и семеноводстве картофеля играет предотвращение распространения инфекций на этапах производства семенного материала и выведении новых сортов. В настоящее время в селекции и семеноводстве используется ручной или механизированный способ проведения сортофиточисток, который обладает низким уровнем автоматизации и подразумевает наличие оператора выбраковывающего и удаляющего растения картофеля.

Цели исследования — теоретическое обоснование цифровой системы идентификации инфекционных заболеваний растений картофеля и разработка алгоритма работы по выявлению координат заболевших растений для их последующего удаления.

Методы. В процессе разработки системы распознавания зараженных растений картофеля и определения координат их клубневого гнезда использовали технологии машинного зрения и алгоритмы глубокого обучения, а также базу данных изображений зараженных растений. Для определения реального размера объекта на кадре, а также для минимизации искажений объектива и учета углов наклона камеры относительно объектов использовали фотограмметрические методы.

Результаты. Теоретически обоснована необходимость создания цифровой системы идентификации инфекционных заболеваний растений картофеля для их последующего эффективного выявления и удаления. Учтены возможные искажения изображений из-за дисторсии объектива и изменения углов внешнего ориентирования при движении машины, что позволяет корректировать координаты и повышать точность определения местоположения растений.

Предложен алгоритм совместной работы системы распознавания зараженных растений картофеля, системы определения координат заболевших растений и исполнительного механизма извлечения растений из почвы.

Ключевые слова: цифровая система идентификации, картофель, идентификация заболеваний, селекция и семеноводство, сортофиточистка, машинное зрение, определение координат растения, удаление зараженных растений

Для цитирования: Тетерин В.С., Панфёров Н.С., Овчинников А.Ю., Пехнов С.А., Кондрахов Д.Д. Обоснование цифровой системы идентификации инфекционных заболеваний и удаления зараженных растений картофеля. *Аграрная наука*. 2025; 395(06): 148–155. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-395-06-148-155>

Substantiation of a digital system for the identification of infectious diseases and removal of infected potato plants

ABSTRACT

Relevance. Prevention of the spread of infections at the stages of seed production and breeding of new varieties plays an important role in potato breeding and seed production. Currently, in breeding and seed production, a manual or mechanized method of carrying out variety harvesting is used, which has a low level of automation and implies the presence of an operator culling and removing potato plants.

The objectives of the study are the theoretical substantiation of a digital identification system for infectious diseases of potato plants and the development of an algorithm for identifying the coordinates of diseased plants for their subsequent removal.

Methods. In the process of developing a system for recognizing infected potato plants and determining the coordinates of their tuber nest, machine vision technologies and deep learning algorithms, as well as a database of images of infected plants, were used. Photogrammetric methods were used to determine the actual size of the object in the frame, as well as to minimize lens distortion and take into account camera angles relative to objects.

Results. The necessity of creating a digital identification system for infectious diseases of potato plants for their subsequent effective detection and removal is theoretically substantiated. Factors affecting the accuracy of determining coordinates, such as lens distortion and camera orientation angles, are taken into account.

An algorithm for the joint operation of a system for recognizing infected potato plants, a system for determining the coordinates of diseased plants, and an actuating mechanism for extracting plants from the soil is proposed.

Key words: digital identification system, identification of potato diseases, breeding and seed production, variety screening, machine vision, determination of plant coordinates, removal of infected plants

For citation: Teterin V.S., Panferov N.S., Ovchinnikov A.Yu., Pehnov S.A., Kondrakhov D.D. Substantiation of a digital system for the identification of infectious diseases and removal of infected potato plants. *Agrarian science*. 2025; 395(06): 148–155 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-395-06-148-155>

Введение/Introduction

Картофель — одна из самых распространенных культивируемых культур на планете, что неудивительно, ведь в картофеле содержится большое количество питательных веществ, а сама культура достаточно неприхотлива и проста в культивации. При этом, несмотря на современные агроприемы, используемые при выращивании картофеля, клубни и кусты подвержены более чем 50 различным заболеваниям, которые наносят значительный экономический ущерб, связанный с потерей урожайности [1–4].

Среди заболеваний картофеля встречаются фитофтороз, альтернариоз, парша обыкновенная, вирусы X, Y и др. В свою очередь, для эффективной борьбы с этими заболеваниями необходим комплексный подход, включающий в себя не только агрохимические приемы по обработке посадок картофеля, но и применение севооборотов, оптимизацию питания растений, осторожное применение фунгицидов с учетом риска развития резистентности у патогена, а также выведение и использование устойчивых к патогенам сортов [5].

Зачастую заражение и перенос болезней происходят еще на этапе производства семенного материала, поэтому при выведении новых сортов или получении семенного материала в селекции и семеноводстве картофеля и овощных культур проводятся специальные мероприятия, направленные на выявление и последующее удаление зараженных растений. Одной из таких практик является проведение сортофитоочистки, в ходе которых специалисты осматривают растения и удаляют те, что поражены болезнями или не соответствуют сортовым признакам. Как правило, в течение вегетационного периода в среднем производятся три сортофитоочистки. Это позволяет повысить качество семенного материала и предотвратить распространение инфекций [6].

Для повышения эффективности процесса очистки посадок картофеля от больных растений разрабатываются и внедряются специализированные машинно-технологические комплексы. В своей конструкции они, как правило, имеют следующие основные элементы: гидравлические или электрические приводы, место оператора, дистанционное управление, саморазгружающиеся бункеры для зараженных растений. Однако уровень их автоматизации обычно ограничивается электронно-гидравлическим воздействием на привод подъема и опускания рабочего места оператора-селекционера [6–8], в связи с чем с 2022 года коллективом ФГБНУ ФНАЦ ВИМ ведутся исследования по разработке конструкции машины для проведения сортофитоочистки овощных культур и картофеля.

Конструкция машины представляет собой самоходный роботизированный комплекс, состоящий из несущей рамы с мотор-колесами, манипулятора, сепарирующего бункера,

саморазгружающегося бункера, системы машинного зрения и цифровой системы управления (рис. 1) [9, 10].

В процессе работы машина для проведения сорто- и фитоочистки движется по посадкам картофеля, анализируя их. При работе система машинного зрения на основе нейронной сети должна не только определять зараженные растения картофеля, но и (корректно) центр клубневого гнезда для точного позиционирования исполнительного рабочего органа (манипулятора) над ним и последующего извлечения [9, 10].

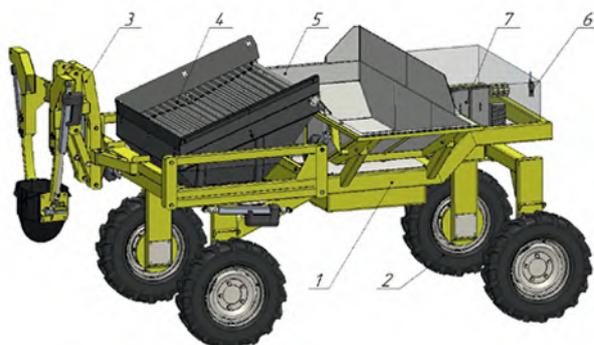
Стоит отметить, что в настоящее время подобные исследования, направленные на внедрение систем машинного зрения, способных определять здоровые и зараженные растения, проводятся во многих странах мира, их ключевые цели — сокращение человеческого фактора и ускорение процесса сортофитоочистки [10–12].

В связи с этим активно применяются методы машинного обучения и компьютерного зрения, особенно алгоритмы глубокого обучения. Среди них особое место занимают сверточные нейронные сети (CNN), которые эффективно справляются с задачей автоматического извлечения и классификации признаков болезней на изображениях листьев картофеля [13]. В свою очередь, сверточные нейронные сети могут быть использованы совместно с пространственными трансформерными сетями (STN) и большими трансформерными сетями (LTN), позволяя повысить точность распознавания тех или иных признаков. Имеются данные, что их совместное применение позволило повысить точность распознавания болезней картофеля на 97,98% [12, 13].

Среди других методов, используемых для распознавания болезней картофеля, можно выделить алгоритмы машинного обучения, такие как классификатор k-ближайшего соседа (k-NN), метод опорных векторов (SVM), деревья решений, а

Рис. 1. Схема машины для фитоочистки овощных культур и картофеля: 1 — несущая рама; 2 — мотор-колесо; 3 — манипулятор; 4 — сепарирующий бункер; 5 — саморазгружающийся бункер; 6 — система машинного зрения; 7 — цифровая система управления. Фото авторов

Fig. 1. Diagram of a vegetable and potato peeling machine: 1 — supporting frame; 2 — motor-wheel; 3 — manipulator; 4 — separation hopper; 5 — self-unloading hopper; 6 — machine vision system; 7 — digital control system. Photos of the authors



также методы обработки изображений, например локальные бинарные шаблоны (LBP). Эти подходы позволяют создавать надежные системы для автоматического обнаружения и классификации заболеваний [12–15].

Важным аспектом является использование открытых наборов данных, таких как PlantVillage, которые содержат большое количество изображений пораженных и здоровых листьев растений. Эти данные используются для обучения и тестирования моделей. Для повышения эффективности моделей применяются различные техники, включая увеличение объема данных и оптимизацию гиперпараметров [13].

Внедрение представленных технологий в системы автоматизированного контроля за посадками картофеля способствует более точному и быстрому выявлению зараженных растений, что в свою очередь повышает качество семенного материала и урожайность культуры. Очевидным развитием в создании машин для осуществления операций по сортофиточистке является разработка роботизированных комплексов, способных определять и удалять зараженные растения картофеля. Подобные комплексы должны быть оснащены системами машинного зрения с использованием алгоритмов машинного обучения и совместно с выкорчевывающими исполнительными механизмами для удаления зараженных растений.

Важную роль в эффективности работы подобных роботизированных комплексов оказывает точность определения координат зараженных растений. После определения координат заболевших растений информация должна передаваться на исполнительный механизм роботизированного комплекса. Чем точнее определены координаты растений, требующих удаления, тем более целенаправленно и аккуратно может действовать исполнительный механизм, минимизируя повреждение здоровых растений.

Цели исследования — теоретическое обоснование цифровой системы идентификации инфекционных заболеваний растений картофеля и разработка алгоритма работы по выявлению координат заболевших растений для их последующего удаления.

Материалы и методы исследования / Materials and methods

В рамках выполнения исследований по разработке машины для проведения сортофиточисток овощных культур и картофеля, в 2022–2024 гг. на материально-технической базе ФГБНУ ФНАЦ ВИМ проводили разработку системы распознавания зараженных растений картофеля и определения координат их клубневого гнезда. С этой

целью использовали техно логии машинного зрения и алгоритмы глубокого обучения (нейронную сеть). Для анализа полученных снимков растений картофеля использовали сверточную нейронную сеть на основе архитектуры Yolo11 (Yolov11) Ultralytics Inc. (США, Испания), снимки с изображением зараженных листьев из открытой базы PlantVillage¹, а также снимки растений, полученные самостоятельно..

Для определения реального размера объекта на основе параметров камеры и расстояния до него предложено использовать фотограмметрические методы, в частности метрическую фотограмметрию, стереофотограмметрию, цифровую фотограмметрию. В процессе определения координат клубневого гнезда учитывали параметры камеры (площадь матрицы, фокусное расстояние и др.), углы наклона и разворота снимка, а также поправки на дисторсию объектива, что позволило получить корректные значения.

Результаты и обсуждение / Results and discussion

Для определения заболевших растений картофеля при помощи цифровой системы идентификации на машине для проведения сортофиточистки овощных культур параллельно поверхности земли и непосредственно над гребнем устанавливали RGB-камеру MER2-503-36U3C. Полученные с камеры горизонтальные снимки растений картофеля обрабатывали при помощи сверточной нейронной сети, которая анализировала изображения растений и вычисляла их характеристики через последовательность сверточных слоев, затем принимали итоговое решение через полносвязный слой, превращая карту характеристик в одно число для классификации по двум классам.

В процессе использовали такие характеристики, как глубина, ширина и высота тензоров, количество фильтров и размер рецептивного поля. Для корректного распознавания растений нейронную сеть обучали на заранее подготовленной выборке здоровых и больных растений. В результате анализа снимков растений нейронная сеть относилась каждое растение к одной из групп — «Здоровое (Healthy)» или «Больное (Diseased)», при этом на снимках была отмечена рабочая область в виде прямоугольной рамки с обозначением группы (рис. 2).

Стоит обратить внимание, что в рамках данной задачи возникла сложность корректного определения координат стеблей заболевшего куста картофеля. В качестве решения данной проблемы представилась возможность проведения съемки куста картофеля с разных ракурсов, при этом первый ракурс тот, который предназначен для выявления заболевших растений картофеля, то есть

¹ Plant Village — это общедоступная база данных, состоящая из более чем 60 тыс. изображений больных и здоровых листьев растений, в том числе картофеля, собранных в контролируемых условиях (набор данных PlantVillage). https://github.com/gabrielg4/PlantVillage-Dataset/blob/master/Potato_Early_blight/0898bffc-57aa-4fdb-92d1-fd6a03d2a011_RS_Early.B%206946.JPG

Рис. 2. Пример снимка растения картофеля, обработанного нейронной сетью. Фото авторов

Fig. 2. An example of a snapshot of a potato plant processed by a neural network. Photo by the authors



изображение растения сверху, а второй ракурс — съемка растений сбоку.

В свою очередь, важно учитывать, что в зависимости от расположения камеры размеры реального объекта на снимках с разных ракурсов могут отличаться друг относительно друга. При этом, зная параметры используемого оборудования, можно вычислить реальный размер объекта по формуле:

$$S_o = \frac{(S_M \times l)}{f}, \quad (1)$$

где S_o — площадь видимого объекта, m^2 ; S_M — площадь матрицы камеры, m^2 ; l — расстояние от объектива до камеры, m ; f — фокусное расстояние, m .

Выявив зараженное растение, возникает необходимость определить его координаты, в данном случае — координаты центра прямоугольника. Стоит отметить, что при проведении съемки цифровой камерой система координат $OXYZ$ определяется светоприемной матрицей, при этом оси OX и OY направлены параллельно снимаемому объекту, а ось OZ соответствует направлению съемки и определяется фокусным расстоянием используемой камеры. Таким образом, координаты точки K , обозначающей заболевшее растение в координатной плоскости снимка $OXYZ$ и приходящейся в центр прямоугольника, будут определяться следующим выражением:

$$\begin{cases} x_K = x - x_0 \\ y_K = y - y_0, \\ z_K = -f \end{cases} \quad (2)$$

где x_K, y_K, z_K — координаты точки K на местности, m ; x и y — координаты точки K на снимке, m ; x_0 и y_0 — координаты основной точки снимка, m .

Необходимо обратить внимание, что координаты основной точки снимка и фокусное расстояние камеры являются элементами внутреннего ориентирования. Они определяют положение центра проекции относительно плоскости снимка и

восстанавливают связку проектирующих лучей, существовавшую в момент экспонирования [16, 17].

В свою очередь, необходимо учитывать тот факт, что каждый объектив обладает погрешностью получаемого изображения, которая выражается в нарушении подобия изображения самому предмету [18–20]. Данный показатель характеризуется фотограмметрической дисторсией. С учетом этого параметра значение координат точки K можно записать:

$$\begin{cases} x_K = x - x_0 + d_x \\ y_K = y - y_0 + d_y, \\ z_K = -f \end{cases} \quad (3)$$

где d_x и d_y — поправки, компенсирующие влияние фотограмметрической дисторсии объектива.

В общем случае поправки, компенсирующие влияние фотограмметрической дисторсии объектива, можно определить, используя следующее выражение:

$$\begin{cases} d_x = x_d(r^2k_1 + r^4k_2 + r^6k_3) + (r^2 + 2x^2)p_1 + 2x_d y_d p_2 \\ d_y = y_d(r^2k_1 + r^4k_2 + r^6k_3) + (r^2 + 2y^2)p_2 + 2x_d y_d p_1 \end{cases} \quad (4)$$

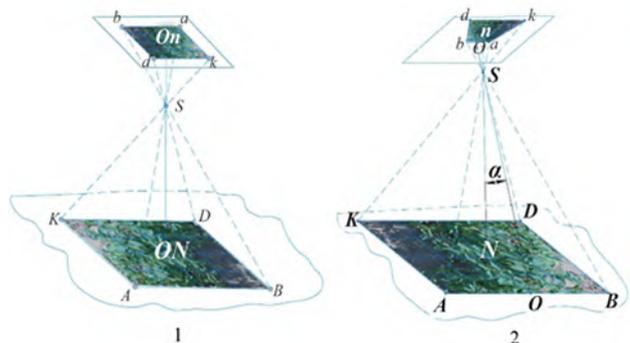
где x_0, y_0 — координаты точек снимка при проведении калибровки объектива, m ; k_1, k_2, k_3 — коэффициенты радиальной дисторсии объектива; p_1, p_2 — коэффициенты тангенциальной дисторсии объектива; r — расстояние на снимке от точки надира до точки на снимке, m .

Отвесное расположение камеры подразумевает, что угол продольного наклона снимка $\alpha = 0^\circ$, а поперечный угол наклона снимка — $\omega = 90^\circ$. Однако при движении машины для проведения сортофитопрочистки овощных культур и картофеля она будет наезжать на различные неровности, что будет приводить к изменению данных углов и, как следствие, вызывать искажение контуров снимка (рис. 3).

В связи с чем для корректного определения координат центра клубневого гнезда растения картофеля необходимо учитывать значения углов внешнего ориентирования. Таким образом,

Рис. 3. Пример искажения контуров снимка при изменении углов внешнего ориентирования: 1 — изображение при отвесном положении оптической оси; 2 — искажение контуров при изменении углов внешнего ориентирования

Fig. 3. An example of distortion of the contours of an image when changing the angles of external orientation: 1 — image with a vertical position of the optical axis; 2 — distortion of contours when changing the angles of external orientation



координаты центра куста в проекции на плоскость XU можно записать в виде следующего выражения:

$$\begin{cases} x_{k1} = x_{кам1} + H \frac{\cos\beta_1(x-x_0+d_x) + \cos\beta_2(y-y_0+d_y) - \cos\beta_3 f}{\cos\gamma_1(x-x_0+d_x) + \cos\gamma_2(y-y_0+d_y) - \cos\gamma_3 f} \\ y_{k1} = y_{кам1} + H \frac{\cos\alpha_1(x-x_0+d_x) + \cos\alpha_2(y-y_0+d_y) - \cos\alpha_3 f}{\cos\gamma_1(x-x_0+d_x) + \cos\gamma_2(y-y_0+d_y) - \cos\gamma_3 f} \end{cases}, \quad (5)$$

где $X_{кам1}, Y_{кам1}$ — координаты расположения камеры первого ракурса в системе координат машины для проведения работ по сортофитопро очистке овощных культур и картофеля, м; H — высота расположения камеры над поверхностью растения картофеля, м; β_i — угол наклона снимка в поперечном направлении, град; α_i — угол наклона снимка в продольном направлении, град; γ_i — угол разворота снимка, град.

В случае попадания в кадр нескольких растений картофеля на первом ракурсе растения классифицируются по показателям к одной из групп, после чего находятся координаты центров прямоугольников каждого из растений. Затем необходимо определить расположение стеблевой массы растения, выходящей из гребня, для этого со второго ракурса производится съемка растений картофеля сбоку, то есть камера устанавливается

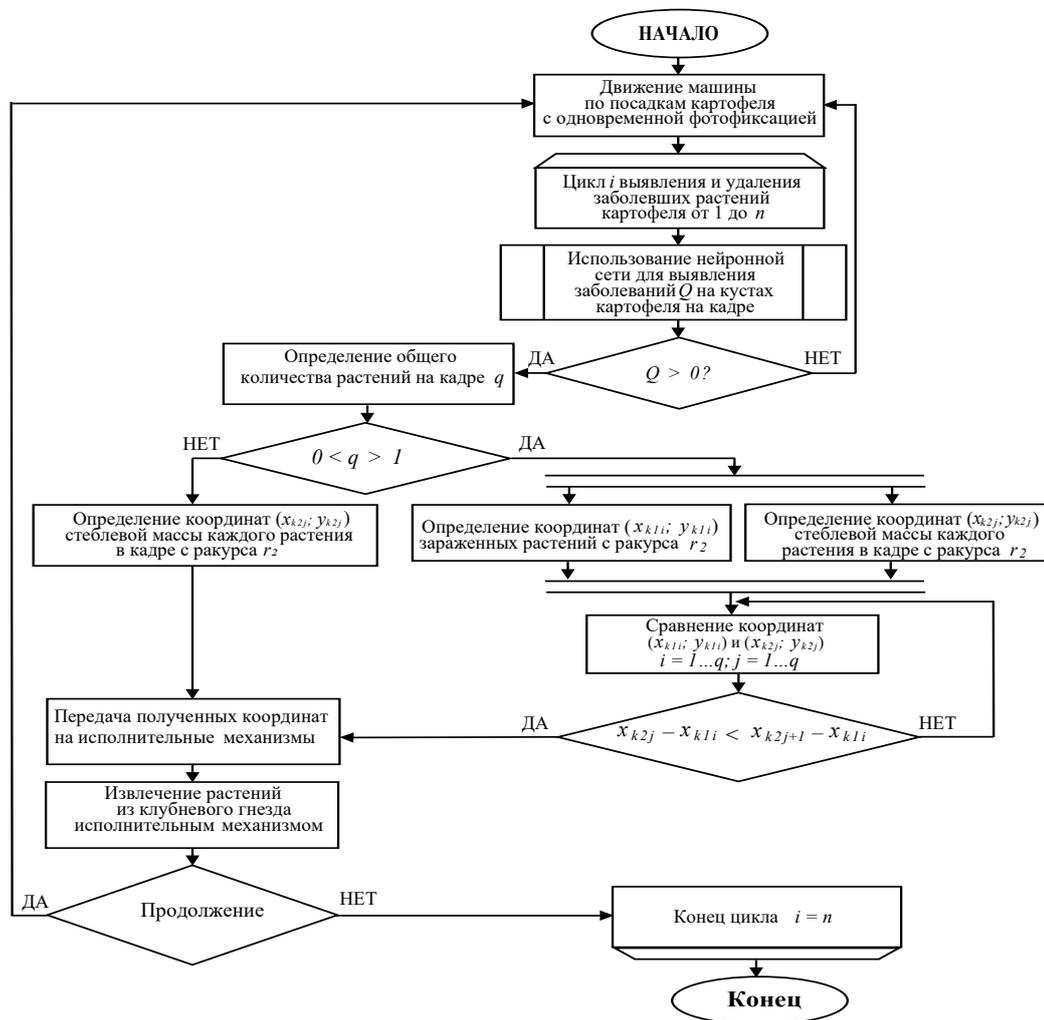
таким образом, чтобы направление съемки (ось OZ') было перпендикулярно направлению съемки с первого ракурса (ось OZ), ось OY' перпендикулярна OY , а ось OX' параллельна оси OX . Определение координат растений центров стеблевой массы в данном случае по следующей формуле:

$$\begin{cases} x_{k2} = x_{кам2} + L \frac{\cos\beta'_1(x-x_0+d_x) + \cos\beta'_2(y-y_0+d_y) - \cos\beta'_3 f}{\cos\gamma'_1(x-x_0+d_x) + \cos\gamma'_2(y-y_0+d_y) - \cos\gamma'_3 f} \\ y_{k2} = y_{кам2} + L \frac{\cos\alpha'_1(x-x_0+d_x) + \cos\alpha'_2(y-y_0+d_y) - \cos\alpha'_3 f}{\cos\gamma'_1(x-x_0+d_x) + \cos\gamma'_2(y-y_0+d_y) - \cos\gamma'_3 f} \end{cases}, \quad (6)$$

где $X_{кам2}, Y_{кам2}$ — координаты расположения камеры второго ракурса в системе координат машины для проведения работ по сортофитопро очистке овощных культур и картофеля, м; L — дальность расположения камеры от стеблевой массы картофеля, м; f_2 — фокусное расстояние камеры второго ракурса, м; β'_i — угол наклона снимка в поперечном направлении для второго ракурса, град; α'_i — угол наклона снимка в продольном направлении для второго ракурса, град; γ'_i — угол разворота снимка для второго ракурса, град.

На основе выражений 5 и 6 был предложен алгоритм работы комплекса по выявлению координат заболевших растений для последующего их удаления (рис. 4).

Рис. 4. Алгоритм работы комплекса по выявлению координат заболевших растений
Fig. 4. The algorithm of the complex for identifying the coordinates of diseased plants



Согласно предложенному алгоритму в начале работы машина движется по посадкам картофеля с одновременной фотофиксацией кустов картофеля, при этом запускается цикл i работы программного обеспечения, основанный на работе сверточной нейронной сети, которая определяет зараженное или не соответствующее сортовому признаку растение Q .

При выявлении растения, требующего удаления, программа определяет количество кустов, запечатленных на анализируемом кадре q . В случае если $q = 1$, происходит определение уточненных координат X_{k2j} , Y_{k2j} согласно выражению 6 на снимке стеблевой массы, сделанном со второго ракурса, после чего информация с координатами отправляется на исполнительные механизмы.

Если на анализируемом снимке с верхнего ракурса r_1 более одного куста, программой с использованием выражения 5 определяют координаты растений, требующих удаления, затем посредством выражения 6 с ракурса r_2 — координаты стеблевых масс каждого из растений. Потом определяют погрешность отклонения координаты точки, полученной с первого ракурса, от координат точек, полученных со второго ракурса

($\Delta X_K = X_{K2j} - X_{K1i}$). После этого происходит последовательное сравнение полученных отклонений.

На основании результатов проведенного сравнения определяют наименьшее из отклонений ΔX_K , а уменьшаемое значение при расчете данного отклонения будет являться искомой координатой, которую отправляют на исполнительный механизм машины. После прохождения программой n циклов (количество исследуемых кустов) алгоритм прекращает свою работу.

Выводы/Conclusions

В результате проведенных исследований теоретически обоснована необходимость создания цифровой системы идентификации инфекционных заболеваний растений картофеля для их последующего эффективного выявления и удаления.

Для корректной совместной работы системы распознавания зараженных растений картофеля и системы удаления (манипулятора) машины для проведения сортофиточистки овощных культур разработан алгоритм работы комплекса по выявлению координат заболевших растений для их последующего извлечения из почвы.

Все авторы несут ответственность за работу и представленные данные. Все авторы внесли равный вклад в работу. Авторы в равной степени принимали участие в написании рукописи и несут равную ответственность за плагиат. Авторы объявили об отсутствии конфликта интересов.

All authors bear responsibility for the work and presented data. All authors made an equal contribution to the work. The authors were equally involved in writing the manuscript and bear the equal responsibility for plagiarism. The authors declare no conflict of interest.

ФИНАНСИРОВАНИЕ

Исследование выполнено при финансовой поддержке Российского научного фонда № 23-76-10062 «Разработка роботизированного комплекса с цифровой системой интеллектуального управления для ухода за растениями картофеля и исследование закономерностей распространения инфекционных заболеваний в полевых условиях производства семян».

FUNDING

The research was carried out with the financial support of the Russian Science Foundation No. 23-76-10062 "The development of a robotic complex with a digital intelligent control system for the care of potato plants and the study of patterns of the spread of infectious diseases in the field of seed production."

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- King J.C., Slavin J.L. White Potatoes, Human Health, and Dietary Guidance. *Advances in Nutrition*. 2013; 4(3): 393S–401S. <https://doi.org/10.3945/an.112.003525>
- Koch M., Naumann M., Pawelzik E., Gransee A., Thiel H. The Importance of Nutrient Management for Potato Production Part I: Plant Nutrition and Yield. *Potato Research*. 2020; 63(1): 97–119. <https://doi.org/10.1007/s11540-019-09431-2>
- Naumann M., Koch M., Thiel H., Gransee A., Pawelzik E. The Importance of Nutrient Management for Potato Production Part II: Plant Nutrition and Tuber Quality. *Potato Research*. 2020; 63(1): 121–137. <https://doi.org/10.1007/s11540-019-09430-3>
- Зейрук В.Н., Васильева С.В., Новикова И.И., Белякова Н.А., Деревягина М.К., Белов Г.Л. Перспективы развития экологических приемов защиты картофеля от болезней и вредителей. *Аграрная наука*. 2019; (S3): 54–59. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2019-326-3-54-59>
- Сибирев А.В. и др. Прогнозирование уровня биологических рисков возникновения и распространения инфекционных и паразитарных заболеваний картофеля. *Вестник российской сельскохозяйственной науки*. 2024; (2): 89–95. <https://doi.org/10.31857/S2500208224020189>
- Дорохов А.С., Сибирев А.В., Аксенов А.Г., Мосяков М.А. Аналитические исследования машинно-технологических комплексов для сортофиточистки посадок картофеля и овощных культур в селекции и семеноводстве. *Аграрный научный журнал*. 2022; (4): 76–82. <https://doi.org/10.28983/asj.y2022i4pp76-82>

REFERENCES

- King J.C., Slavin J.L. White Potatoes, Human Health, and Dietary Guidance. *Advances in Nutrition*. 2013; 4(3): 393S–401S. <https://doi.org/10.3945/an.112.003525>
- Koch M., Naumann M., Pawelzik E., Gransee A., Thiel H. The Importance of Nutrient Management for Potato Production Part I: Plant Nutrition and Yield. *Potato Research*. 2020; 63(1): 97–119. <https://doi.org/10.1007/s11540-019-09431-2>
- Naumann M., Koch M., Thiel H., Gransee A., Pawelzik E. The Importance of Nutrient Management for Potato Production Part II: Plant Nutrition and Tuber Quality. *Potato Research*. 2020; 63(1): 121–137. <https://doi.org/10.1007/s11540-019-09430-3>
- Zeyruk V.N., Vasilyeva S.V., Novikova I.I., Belyakova N.A., Derevyagina M.K., Belov G.L. Prospects of development of ecological methods of potato protection from diseases and pests. *Agrarian science*. 2019; (S3): 54–59 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2019-326-3-54-59>
- Sibirev A.V. et al. Forecasting the level of biological risks of the emergence and spread of infectious and parasitic potato diseases. *Vestnik of the Russian agricultural science*. 2024; (2): 89–95 (in Russian). <https://doi.org/10.31857/S2500208224020189>
- Dorokhov A.S., Sibirev A.V., Aksenov A.G., Mosyakov M.A. Analytical studies of machine-technological complexes for variety-phyto-cleaning of potato and vegetable crops in breeding and seed production. *Agrarian Scientific Journal*. 2022; (4): 76–82 (in Russian). <https://doi.org/10.28983/asj.y2022i4pp76-82>

7. Черноиванов В.И. Цифровые технологии в АПК. *Техника и оборудование для села*. 2018; (5): 2–4. <https://www.elibrary.ru/xorbjr>
8. Измайлов А.Ю. Интеллектуальные технологии и роботизированные средства в сельскохозяйственном производстве. *Вестник Российской академии наук*. 2019; 89(5): 536–538. <https://doi.org/10.31857/S0869-5873895536-538>
9. Лобачевский Я.П., Тетерин В.С., Панфёров Н.С., Пехнов С.А., Трунов М.С. Теоретические исследования рабочего органа машины для проведения сортофитопроцистков посадок картофеля. *Аграрная наука*. 2025; (3): 116–122. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-392-03-116-122>
10. Аксенов А.Г., Тетерин В.С., Овчинников А.Ю., Панферов Н.С., Пехнов С.А. Использование нейронной сети для выявления больных растений картофеля. *Аграрная наука*. 2022; (7–8): 167–171. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2022-361-7-8-167-171>
11. Воробьев Н.И., Лысов А.К., Корнилов Т.В., Хютти А.В. Вычислительная нейросеть для обработки светоотражательных спектров растений и дистанционного фитосанитарного мониторинга картофеля. *Аграрная наука Евро-Северо-Востока*. 2024; 25(2): 283–292. <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2024.25.2.283-292>
12. Sinshaw N.T., Assefa B.G., Mohapatra S.K., Beyene A.M. Applications of Computer Vision on Automatic Potato Plant Disease Detection: A Systematic Literature Review. *Computational Intelligence and Neuroscience*. 2022; 2022: 7186687. <https://doi.org/10.1155/2022/7186687>
13. Tiwari D., Ashish M., Gangwar N., Sharma A., Patel S., Bhardwaj S. Potato Leaf Diseases Detection Using Deep Learning. *2020 4th International Conference on Intelligent Computing and Control Systems (ICICCS)*. IEEE. 2020; 461–466. <https://doi.org/10.1109/ICICCS48265.2020.9121067>
14. Hou C. *et al.* Recognition of early blight and late blight diseases on potato leaves based on graph cut segmentation. *Journal of Agriculture and Food Research*. 2021; 5: 100154. <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2021.100154>
15. Sert E. A deep learning based approach for the detection of diseases in pepper and potato leaves. *Anadolu Tarım Bilimleri Dergisi*. 2021; 36(2): 167–178. <https://doi.org/10.7161/omuanajas.805152>
16. Гермак О.В., Калачева Н.А., Гугуева О.А. Возможности неметрических цифровых камер в наземной фотограмметрии. *Научное обозрение*. 2014; (7–2): 654–656. <https://www.elibrary.ru/sziucv>
17. Пирниязова Б., Эсенова А., Гараджаев Б., Оразова А. Прикладная фотограмметрия. *Символ науки*. 2024; 3(1–1): 54–56. <https://www.elibrary.ru/mxlfhk>
18. Ермаков Д.М., Чернушич А.П., Бернштейн М. Применение фазовой дисторсии при цифровой обработке изображений в частотной области. *Нелинейный мир*. 2009; 7(11): 861–868. <https://www.elibrary.ru/laanvt>
19. Ежова К.В. Разложение фотограмметрической дисторсии по ортогональным полиномам Цернике. *Оптический журнал*. 2012; 79(5): 53–56. <https://www.elibrary.ru/tpopor>
20. Бондарев В.Г., Проценко В.В., Пикалов А.С. Сравнительный анализ влияния дисторсии объектива на параметры системы технического зрения. *Состояние и перспективы развития современной науки по направлению «Техническое зрение и распознавание образов». Сборник тезисов докладов научно-технической конференции*. Анапа: Военный инновационный технополис «ЭРА». 2019; 66–73. <https://www.elibrary.ru/igvcsy>
7. Chernoi Ivanov V.I. Digital technologies in agribusiness. *Machinery and equipment for rural area*. 2018; (5): 2–4 (in Russian). <https://www.elibrary.ru/xorbjr>
8. Izmaylov A.Yu. Smart technologies and robotic means in agricultural production. *Vestnik Rossijskoj akademii nauk*. 2019; 89(5): 536–538 (in Russian). <https://doi.org/10.31857/S0869-5873895536-538>
9. Lobachevsky Ya.P., Teterin V.S., Panferov N.S., Pehnov S.A., Trunov M.S. Theoretical research of the working element of the machine for storing phyto-sorting cleaning of salad plantings. *Agrarian science*. 2025; (3): 116–122 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-392-03-116-122>
10. Aksenov A.G., Teterin V.S., Ovchinnikov A.Yu., Panferov N.S., Pehnov S.A. Using a neural network to identify diseased potato plants. *Agrarian science*. 2022; (7–8): 167–171 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2022-361-7-8-167-171>
11. Vorobyov N.I., Lysov A.K., Kornilov T.V., Hyutti A.V. Computational neural network for processing light-reflective spectra of plants and remote phytosanitary monitoring of potatoes. *Agricultural Science Euro-North-East*. 2024; 25(2): 283–292 (in Russian). <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2024.25.2.283-292>
12. Sinshaw N.T., Assefa B.G., Mohapatra S.K., Beyene A.M. Applications of Computer Vision on Automatic Potato Plant Disease Detection: A Systematic Literature Review. *Computational Intelligence and Neuroscience*. 2022; 2022: 7186687. <https://doi.org/10.1155/2022/7186687>
13. Tiwari D., Ashish M., Gangwar N., Sharma A., Patel S., Bhardwaj S. Potato Leaf Diseases Detection Using Deep Learning. *2020 4th International Conference on Intelligent Computing and Control Systems (ICICCS)*. IEEE. 2020; 461–466. <https://doi.org/10.1109/ICICCS48265.2020.9121067>
14. Hou C. *et al.* Recognition of early blight and late blight diseases on potato leaves based on graph cut segmentation. *Journal of Agriculture and Food Research*. 2021; 5: 100154. <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2021.100154>
15. Sert E. A deep learning based approach for the detection of diseases in pepper and potato leaves. *Anadolu Tarım Bilimleri Dergisi*. 2021; 36(2): 167–178. <https://doi.org/10.7161/omuanajas.805152>
16. Germak O.V., Kalacheva N.A., Gugueva O.A. Capabilities of non-metric digital cameras in terrestrial photogrammetry. *Science Review*. 2014; (7–2): 654–656 (in Russian). <https://www.elibrary.ru/sziucv>
17. Pirniyazova B., Esenova A., Garadzhaev B., Orazova A. Applied Photogrammetry. *Simvol nauki*. 2024; 3(1–1): 54–56 (in Russian). <https://www.elibrary.ru/mxlfhk>
18. Ermakov D.M., Chernushich A.P., Bernstein M. Application of phase distortion in digital image processing in the frequency domain. *Nonlinear world*. 2009; 7(11): 861–868 (in Russian). <https://www.elibrary.ru/laanvt>
19. Ezhova K.V. Expansion of photogrammetric distortion in orthogonal Zernike polynomials. *Journal of Optical Technology*. 2012; 79(5): 299–301. <https://doi.org/10.1364/JOT.79.000299>
20. Bondarev V.G., Protsenko V.V., Pikalov A.S. Comparative analysis of the effect of lens distortion on the parameters of the technical vision system. *The state and prospects of development of modern science in the field of "Technical vision and pattern recognition". Collection of abstracts of scientific and technical conference*. Anapa: Military innovative technopolis ERA. 2019; 66–73 (in Russian). <https://www.elibrary.ru/igvcsy>

ОБ АВТОРАХ

Владимир Сергеевич Тетерин

кандидат технических наук, старший научный сотрудник отдела возделывания и уборки овощных культур открытого грунта
v.s.teterin@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0001-8116-723X>

ABOUT THE AUTHORS

Vladimir Sergeevich Teterin

Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher at the Department of Cultivation and Harvesting of Outdoor Vegetable Crops
v.s.teterin@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0001-8116-723X>

Николай Сергеевич Панферов

кандидат технических наук, старший научный сотрудник
отдела возделывания и уборки овощных культур
открытого грунта
nikolaj-panfyorov@yandex.ru
https://orcid.org/0000-0001-7431-7834

Алексей Юрьевич Овчинников

младший научный сотрудник отдела возделывания
и уборки овощных культур открытого грунта
aleksovchinn@gmail.com
https://orcid.org/0000-0002-2188-1527

Сергей Александрович Пехнов

старший научный сотрудник отдела возделывания
и уборки овощных культур открытого грунта
pehnov@mail.ru
https://orcid.org/0000-0001-9471-6074

Даниил Дмитриевич Кондрахов

аспирант
TancorKondor@yandex.ru
https://orcid.org/0009-0002-8971-1943

Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ,
1-й Институтский проезд, 5, Москва, 109428, Россия

Nikolay Sergeevich Panferov

Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher
at the Department of Cultivation and Harvesting
of Outdoor Vegetable Crops
nikolaj-panfyorov@yandex.ru
https://orcid.org/0000-0001-7431-7834

Alexey Yuryevich Ovchinnikov

Junior Researcher at the Department of Cultivation
and Harvesting of Outdoor Vegetable Crops
aleksovchinn@gmail.com
https://orcid.org/0000-0002-2188-1527

Sergey Alexandrovich Pehnov

Senior Researcher at the Department of Cultivation
and Harvesting of Outdoor Vegetable Crops
pehnov@mail.ru
https://orcid.org/0000-0001-9471-6074

Daniil Dmitrievich Kondrakhov

Graduate Student
TancorKondor@yandex.ru
https://orcid.org/0009-0002-8971-1943

Federal Scientific Agroengineering Center VIM,
5 1st Institute Passage, Moscow, 109428, Russia



СИБИРСКАЯ АГРАРНАЯ НЕДЕЛЯ

Международная агропромышленная выставка



5-7 ноября 2025

350+

компаний
принимают участие

8500+

профессиональных
посетителей

ЛИДЕРЫ РЫНКА ПРЕДСТАВЛЯЮТ

- Сельхозтехнику и оборудование.
- Технологии для растениеводства и животноводства.
- Решения для переработки, хранения и логистики.

НАЙДИТЕ СВОИХ КЛИЕНТОВ НА СИБИРСКОЙ АГРАРНОЙ НЕДЕЛЕ!

sibagroweek.ru



Место проведения :

**НОВОСИБИРСК
ЭКСПО ЦЕНТР**

Организатор:

 СИБИРСКАЯ
ВЫСТАВОЧНАЯ
КОМПАНИЯ

+7 (383) 304-83-88

sibagroweek

@sibagroweek

РЕКЛАМА 0+

