

Теоретические предпосылки разработки рабочих органов автоматизированной машины для удаления из почвы зараженных растений картофеля и овощных культур

А. С. Дорохов, доктор технических наук, академик РАН

А. В. Сибирёв ✉, доктор технических наук, главный научный сотрудник отдела «Машинные технологии в овощеводстве»

В. С. Тетерин, кандидат технических наук, старший научный сотрудник отдела «Машинные технологии в овощеводстве»

ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ»

109428, РФ, г. Москва, 1-й Институтский проезд, дом 5

✉ sibirev2011@yandex.ru

Резюме. Работу проводили с целью теоретических исследований разрабатываемых рабочих органов автоматизированной машины для удаления из почвы зараженных растений картофеля и овощных культур. Выполнено теоретическое обоснование манипулятора автоматизированной машины для удаления из почвы зараженных растений картофеля и овощных культур. При проведении теоретических исследований разработана функциональная модель системы для удаления из почвы зараженных растений картофеля и овощных культур, учитывающая параметры, оказывающие влияние на качество работы системы: входные воздействия - количество зараженных растений картофеля, расположенных на единицу площади поля, а также конструктивные особенности (геометрические параметры) манипулятора автоматизированной машины $k(t)$, $V(t)$ – рабочие скорости исполнительных приводов, $l(t)$ – режимы согласования совместной работы приводов. Выполнено компьютерное моделирование автоматизированного устройства с цифровой системой управления для удаления зараженных растений картофеля и овощных культур, а также разработаны модели клубней картофеля в среде программы Rocky DEM, представляющие собой неразрушаемый многогранник с 23 гранями, а почвенные комки являлись разрушаемым многогранником с 25 гранями, минимально возможное разрушение которых использовалось до размерности 10 мм. Получено условие обеспечения гарантированного захвата и извлечения клубневого гнезда при расстоянии между осями рядом расположенных кустов растения не более рабочей ширины захвата автоматизированного манипулятора. Наиболее эффективно почвенные комки разрушаются при частоте колебаний планчатого транспортера 45...60 Гц и амплитуде колебаний 0,03 м, а качество сепарации картофельного вороха от почвенных комков повышается при частоте колебаний 15...40 Гц и амплитуде колебаний менее 0,02 м.

Ключевые слова: хранение, картофель, овощные культуры, теоретические исследования, обоснование параметров.

Для цитирования: Дорохов А. С., Сибирёв А. В., Тетерин В. С. Теоретические предпосылки разработки рабочих органов автоматизированной машины для удаления из почвы зараженных растений картофеля и овощных культур // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. 2025. № 1 (69). С. 193-201 doi:10.18286/1816-4501-2025-1-193-201

Theoretical prerequisites for development of working bodies of an automated machine for removing infected potato and vegetable crops from the soil

A. S. Dorokhov, A. V. Sibirev ✉, **V. S. Teterin**

FSBSI Federal Scientific Agroengineering Center VIM

109428, Russian Federation, Moscow, 1st Institutsky dr., building 5,

✉ sibirev2011@yandex.ru

Abstract. The work was conducted for theoretical research of the developed working bodies of an automated machine for removing infected potato and vegetable crops from the soil. A theoretical justification of the manipulator of an automated machine for removing infected potato and vegetable crops from the soil was carried out. A functional model of the system for soil removal was developed, taking into account the parameters that affect the system quality: input effects - the number of infected potato plants located per unit of area of the field, as well as the design features (geometric parameters) of the manipulator of the automated machine $k(t)$, $V(t)$ - operating speeds of the actuators, $l(t)$ - modes of coordination of the joint operation of the actuators. A computer simulation of an automated device with a digital control system for removing infected potato and vegetable crops was carried out, and potato tuber models were developed in the Rocky DEM program, representing indestructible polyhedron with 23 faces, and the soil lumps were a

destructible polyhedron with 25 faces, the minimum possible destruction of which was used up to a size of 10 mm. A condition was obtained for ensuring guaranteed capture and extraction of a tuber nest at a distance between the axes of adjacent plant bushes no more than the working width of the automated manipulator. Soil lumps are most effectively destroyed at an oscillation frequency of the slat conveyor of 45 ... 60 Hz and an oscillation amplitude of 0.03 m, and the quality of separation of a potato heap from soil lumps increases at an oscillation frequency of 15 ... 40 Hz and an oscillation amplitude of less than 0.02 m.

Keywords: storage, potatoes, vegetable crops, theoretical research, justification of parameters.

For citation: Dorokhov A. S., Sibirev A. V., Teterin V. S. Theoretical prerequisites for development of working bodies of an automated machine for removing infected potato and vegetable crops from the soil // Vestnik of Ulyanovsk state agricultural academy. 2025;1(69): 193-201 doi:10.18286/1816-4501-2025-1-193-201

Исследования проводили в рамках гранта Российского научного фонда № 23-76-10062 «Разработка роботизированного комплекса с цифровой системой интеллектуального управления для ухода за растениями картофеля и исследованием закономерностей распространения инфекционных заболеваний в полевых условиях производства семян»

Введение

Овощные культуры и картофель имеют одну из самых длительных по времени (до 5 лет, реже – больше) схему семеноводства. Наивысшей урожайности добиваются там, где в семеноводстве приняты укороченные схемы производства элиты, но для их реализации необходимо промышленное количество оздоровленных семян (несколько сот тысяч и более в расчете на 1 семеноводческое хозяйство) [1]. Разработка инновационной технологии промышленного производства оздоровленных семян в больших объемах с низкой себестоимостью и ее инженерным обеспечением – задача весьма актуальная. Выполнение разработанных ФНАЦ ВИМ требований к инновационной технологии ускоренного воспроизводства исходного оздоровленного клубневого материала потенциально позволит увеличить выход семян с одного растения за две ротации в год на модуле на два порядка (в 100 раз) по сравнению с перспективными на данный момент гидропонными способами [2, 3, 4]. Однако, для выведения семян отечественной селекции необходимо выполнить не только их получение, но также и обеспечить надлежащие условия хранения. Приоритетное внимание уделяется механизации технологических процессов и совершенствованию технологических процессов в соответствии со стратегией научно-технологического развития РФ в части разработки цифровых систем автоматизированного движения роботизированного комплекса машин для закладки на хранение картофеля и овощных культур [4, 5, 6].

Цель исследований – разработка рабочих органов автоматизированной машины для удаления из почвы зараженных растений картофеля и овощных культур, обеспечивающих исключение заражения семян при выведении новых сортов и гибридов при автоматизированном извлечении зараженных растений из почвы и их утилизации.

Материалы и методы

Выполнение операции извлечения зараженных растений картофеля и овощных культур из почвы при проведении оздоровительных приемов по выведению новых сортов в семеноводстве

определяется комплексом работ, определяющим получение оздоровленных семян сельскохозяйственных растений. Для выполнения данных мероприятий в ФГБНУ ФНАЦ ВИМ коллектив авторов разрабатывает машину и проводят исследования ее технологического процесса автоматизированного удаления растений в семеноводческих посадках. Исследования проводят с использованием средств компьютерного моделирования при разработке конструкции машины [7, 8, 9].

Теоретические исследования выполняли при использовании комплекса существующих базовых методов исследования, в том числе численных методов, разработанных программ и методик проведения экспериментальных исследований с последующей обработкой данных на ЭВМ с использованием прикладных программ Kompas-3D, MS Excel, MS Word и среды разработки Ansys Rocky DEM.

Результаты

При движении по полю при помощи оператора или с использованием технологий машинного зрения определяется зараженное растение или растение (рис. 1), не соответствующее сортовому признаку [10, 11, 12].

Экспериментальный образец манипулятора автоматизированной машины для удаления из почвы зараженных растений картофеля и овощных культур состоит из рамы 1 (рис. 2), на которой посредством кронштейнов установлены ползуны 2, скрепленные болтовым соединением и образующие пространственный параллелограммный механизм, который состоит из четырех стоек, закрепленных цилиндрическими шарнирами.

Изменение вертикального и горизонтального положений подкапывающего устройства обеспечивается перемещением линейных актуаторов, установленных с правой и левой сторон рабочего органа.

После определения зараженного растения выкапывающее устройство в форме двух ковшей (вил) устанавливается непосредственно над данным растением. Затем осуществляется первый этап работы – окапывание растения. Для этого при помощи

электроцилиндров 5 осуществляется заглубление каждого из ковшей. Так как ковши между собой не зависимы, а осуществляемая ими работа идентична,

то можно рассмотреть принцип работы на примере одного из них.

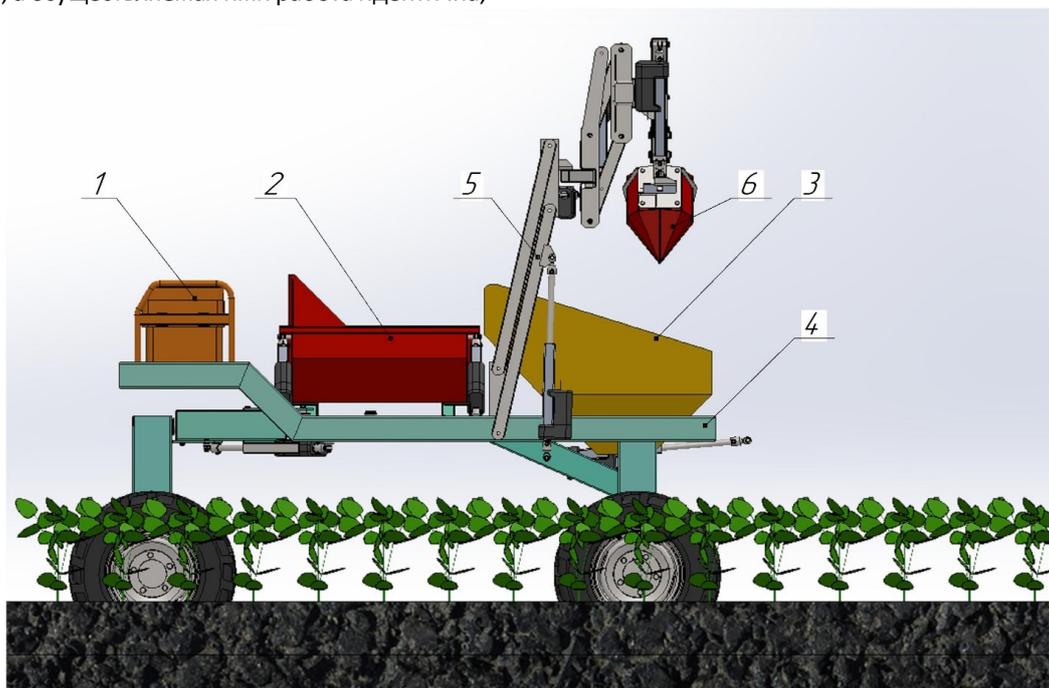


Рис. 1. Технологическая схема работы машины для сортофитопрочистки овощных культур и картофеля: 1 – силовая установка; 2 – саморазгружающийся бункер; 3 – устройство утилизации; 4 – рама шасси; 5 – подъемный механизм; 6 – рабочий орган в форме ковшей

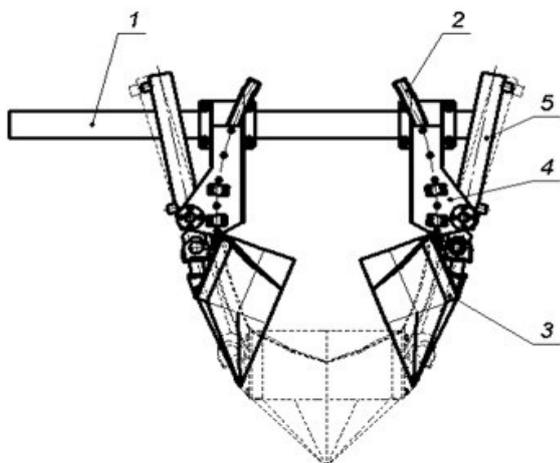


Рис. 2. Манипулятор автоматизированной машины для удаления из почвы зараженных растений картофеля и овощных культур:

1 – рама; 2 – ползун; 3 – ковш; 4 – направляющая; 5 – электроцилиндр

Важно учесть, что усилие сопротивления грунта копанию будет зависеть в том числе и от конструкции используемого ковша.

Основные геометрические параметры, такие как ширина ковша и глубина копания для каждого из ковшей идентичны. Ковш имеет пирамидообразную форму с максимальной шириной в основании пирамиды (300, мм) при расстоянии от вершины пирамиды до её основания – 250 мм.

Ковши экскаваторного типа выполнены из листовой стали, а вилообразный ковш – из стальных

прутков диаметром 10 мм, расстояние между которыми составляет 43 мм.

Для определения вероятной траектории движения извлеченного клубневого гнезда рассмотрим функциональную схему системы: «технология – машина – клубневое гнездо» [13, 14, 15] (рис. 3).

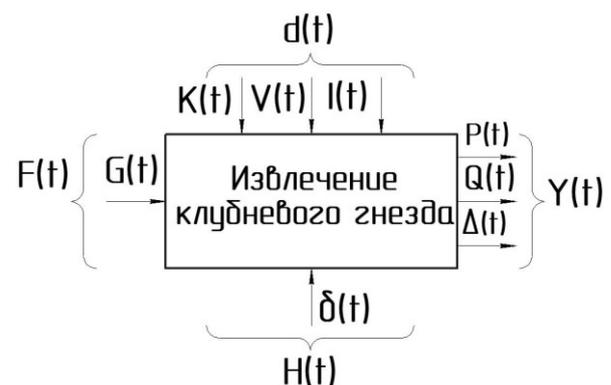


Рис. 3. Функциональная модель системы для удаления из почвы зараженных растений картофеля и овощных культур:

H – неуправляемые факторы; δ – расположение в пространстве зараженных растений на поле относительно автоматизированной машины; P – сменная производительность манипулятора; Q – сбор (погрузка) продукции; Δ – потери в виде сошедших с исполнительного механизма растений картофеля

4.3.1. Технологии, машины и оборудование для агропромышленного комплекса (технические науки)

Входными воздействиями $F(t)$ является количество зараженных растений картофеля, расположенных на единицу площади поля $G(t)$.

Управляющими средствами системы $d(t)$ являются конструктивные особенности (геометрические параметры) манипулятора автоматизированной машины $k(t)$, $V(t)$ – рабочие скорости исполнительных приводов, $l(t)$ – режимы согласования совместной работы приводов.

Для рассмотрения взаимного расположения извлеченного клубневого гнезда из почвы относительно захватов манипулятора примем вариант расположения клубневого гнезда относительно плоскости в XOY под углом к осям X и Y (рис. 4).

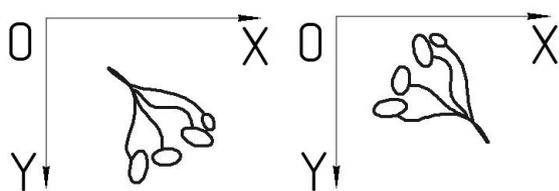


Рис. 4. Расположение клубневого гнезда:
a – вариант I; *b* – вариант II

Значения направляющих косинусов определяются для четвертой координат:

$$\cos(\widehat{r1}) = \pm \frac{\sqrt{2}}{2}, \quad (1)$$

$$\cos(\widehat{r1}) = \pm \frac{\sqrt{2}}{2}, \quad (2)$$

$$\cos(\widehat{rk}) = 0. \quad (3)$$

Положение извлеченного растения картофеля в пространстве можно определить по значениям углов α , β и γ или по направляющим косинусам: $\cos(\widehat{r1})$, $\cos(\widehat{r1})$, $\cos(\widehat{rk})$:

$$\vec{r} = \vec{k} \text{ или } \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \end{pmatrix}, \quad (4)$$

$$\vec{r} = \vec{l} \text{ или } \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \\ 0 \end{pmatrix}, \quad (5)$$

$$\vec{r} = \vec{j} \text{ или } \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}. \quad (6)$$

Кроме того, необходимо принять во внимание, что зараженные растения могут находиться рядом, следовательно, захват и извлечение клубневого гнезда манипулятором могут быть затруднены (рис. 5).

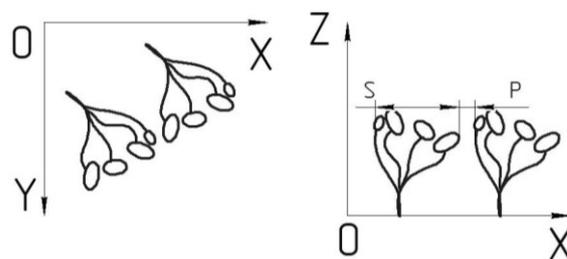


Рис. 5. Смежное расположение клубневого гнезда в декартовых координатах:

a – горизонтальное; *b* – вертикальное

Извлечение растения картофеля из почвы обеспечивается при выполнении условия

$$L \geq 2S + p, \quad (7)$$

где L – ширина захвата манипулятора, m ; S – ширина клубневого гнезда, m ; p – расстояние между растениями, m .

Для определения качества сепарации и степени разрушения извлеченного клубневого гнезда, состоящего из почвенных комков и клубней, в программе SolidWorks была разработана модель планчатого транспортёра со следующими характеристиками: длина транспортёра – 1 м; количество прутков – 43 шт.; расстояние между прутками – 0,04 м; диаметр прутков – 0,01 м; ширина транспортёра – 1 м. После этого в программе Ansys Rocky DEM было выполнено моделирование процесса сепарации клубневого гнезда. В ходе моделирования оценивали процессы, происходящие при разных режимах работы планчатого транспортёра: степень разрушения почвенных комков и их сепарацию между прутками.

В процессе компьютерного моделирования использовали модели частиц почвы, картофеля и растительных остатков (ботва, корни) с физическими параметрами, представленными в таблице. Используемые модели клубней картофеля, почвенных комков и растительных остатков с геометрическими параметрами представлены на рис. 6.

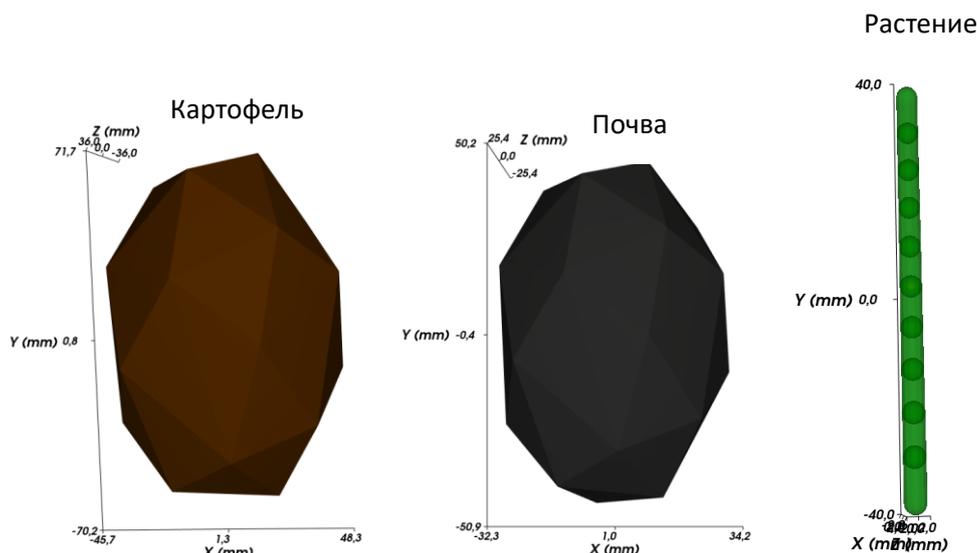


Рис. 6. - Используемые модели объектов, подвергающихся сепарации

Таблица. Физические параметры и контактные параметры имитационной модели вороха корнеклубне-плодов

Параметр	Почва	Растительные примеси	Сталь
Плотность, кг/м ³	1250	243	7800
Коэффициент Пуассона	0,38	0,4	0,31
Модуль сдвига, Па	10 ⁶	10 ⁶	7 × 10 ¹⁰
Коэффициент реституции (взаимодействие с клубнями)	0,2	0,5	0,28
Коэффициент статического трения (взаимодействие с почвой)	0,4	0,3	0,5
Коэффициент трения качения (взаимодействие с клубнями)	0,25	0,05	0,04
Коэффициент реституции (взаимодействие с растительными примесями)	0,5	0,3	0,3
Коэффициент статического трения (взаимодействие с растительными примесями)	0,3	0,65	0,3
Коэффициент трения качения (взаимодействие с растительными примесями)	0,05	0,06	0,01
Коэффициент восстановления (взаимодействие со сталью)	0,28	0,3	-
Коэффициент статического трения (взаимодействие со сталью)	0,5	0,3	-
Коэффициент трения качения (взаимодействие со сталью)	0,04	0,01	-

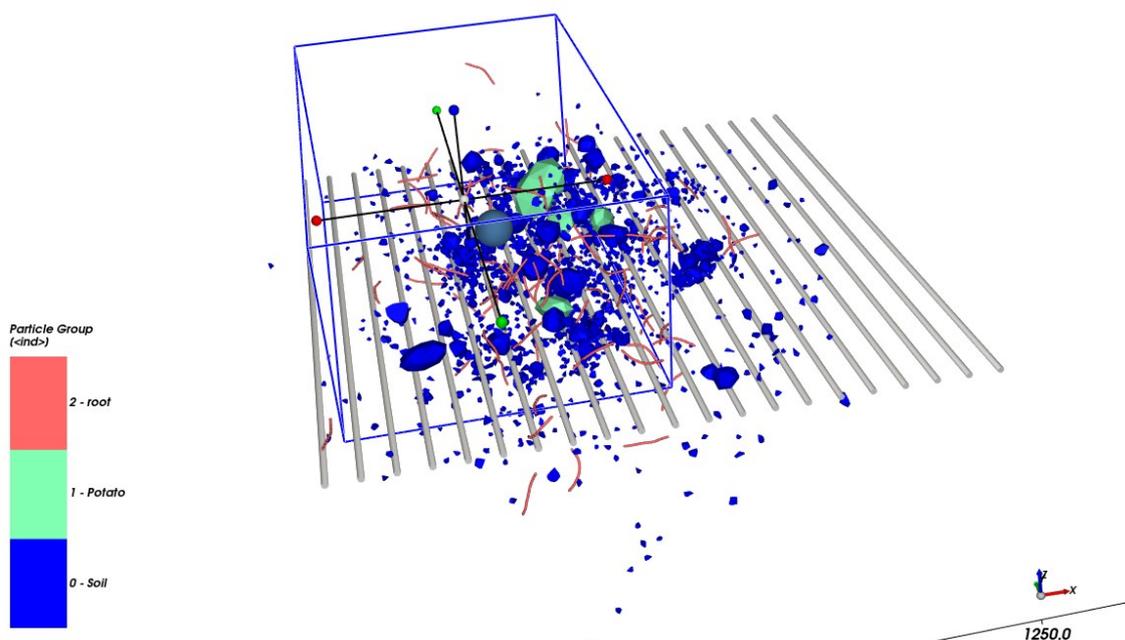


Рис. 7. Моделирование работы планчатого транспортёра:

Soil – почва; Potato – картофель; Root – растения; Particle group – группа частиц

Важно отметить, что модель клубней картофеля представляла собой неразрушаемый многогранник с 23 гранями. Почвенные комки являлись разрушаемым многогранником с 25 гранями, минимально возможное разрушение которых использовалось до размера 10 мм. В качестве модели разрушения применяли модель разрушения частиц Ab-T10. Данная модель рассматривает каждую частицу как единое целое, которое в результате получаемой энергии при ударе может быть мгновенно разбито на фрагменты (рис. 7).

Растительные остатки (корни, ботва) представляли собой эластичные изотропные частицы, состоящие из 10 частей. Общая масса вороха составляла 11,5 кг, из которых на растительные остатки приходилось 0,5 кг, на клубни картофеля – 1 кг, на почву – 10 кг. При этом фракционный состав почвы включал в себя частицы размерностью до 25 мм – 95 %, частицы размерностью более 25 мм – 5 %.

При проведении исследований использовали следующие режимы работы планчатого транспортёра: высота выгрузки клубневого гнезда составляла 0,3 м; скорость движения планчатого транспортёра – 0,9 м/с; частота колебаний варьировалась от 30 Гц до 60 Гц; амплитуда колебаний - от 0,01 м до 0,05 м.

В результате исследований было установлено, что наиболее эффективно почвенные комки разрушаются при частоте колебаний от 45 Гц до 60 Гц и амплитуде колебаний 0,03 м.

Качество сепарации картофельного вороха от почвенных комков повышается при частоте колебаний 15...40 Гц, амплитуде колебаний - менее 0,02 м. При этом основная масса комков просеивалась в первой половине полотна планчатого транспортёра.

Для проверки разработанных алгоритмов функционирования цифровой системы управления, обеспечивающей синхронизацию взаимосвязанных операций по извлечению клубневого гнезда из почвы, отделению от клубней почвенных примесей и укладки растения картофеля в саморазгружающийся бункер необходимо проведение экспериментальных исследований в лабораторных и производственных условиях. Также необходимо компьютерное моделирование для выявления и анализа закономерности влияния различных факторов на процесс извлечения клубневого гнезда из почвы, сепарации от почвенных примесей с целью получения оптимальных параметров рабочих органов и их режимов работы и закладки основы для последующей корректировки параметров разрабатываемой роботизированной машины для удаления из почвы зараженных растений картофеля и овощных культур.

Обсуждение

Проблема разработки машинно-технологических комплексов отечественного производства для

выполнения операций по распознаванию, извлечению и утилизации зараженных растений овощных культур и картофеля определяет возможность получения безвирусного семенного материала, что обеспечивает продовольственную безопасность страны независимо от внешних условий [16, 17].

Предприятия зарубежного сельскохозяйственного машиностроения выпускают одноименные по принципу действия машины для удаления зараженных растений с вариациями по затратам энергии, рядности рабочей зоны, а также типу привода и ширине колеи [18, 19].

Широко распространено внедрение робототехники в сельское хозяйство [20, 21], с 1990-х годов изучаются роботы-уборщики и в настоящее время известны прототипы для уборки огурцов [22, 23], клубники [24, 25] и других сельскохозяйственных культур, к примеру проектирование и испытание роботизированной системы уборки томатов.

Однако из-за изменяющихся условий сельскохозяйственного производства, таких как нестабильный солнечный свет, неструктурированное рабочее пространство, неравномерное созревание плодов и корнеплодов, их заражение различными патогенами, становится затруднительным их идентифицировать [26].

Исследования по автоматизированной идентификации биологических объектов и их последующему удалению фокусируются на трех ключевых моментах: идентификация, выбор исследуемого объекта на основе распознавания и его последующее извлечение.

Однако использование данных машин для извлечения из почвы зараженных растений картофеля и овощных культур невозможно из-за конструктивных особенностей манипулятора, а также отсутствия возможности погружения в почву для захвата гнезда клубней. Таким образом, целесообразность разработки технологии удаления больных растений картофеля и овощных культур, а также технических средств для ее реализации обусловлена необходимостью применения оздоровительных приемов при производстве семян овощных культур и картофеля, а также отсутствием в Российской Федерации машинной технологии и технических средств для получения оздоровленных семян картофеля и овощных культур.

Заключение

Моделирование автоматизированного устройства с цифровой системой управления для удаления зараженных растений картофеля и овощных культур позволило определить его оптимальные параметры. Смоделированный в программе SolidWorks для определения качества сепарации и степени разрушения извлеченного клубневого гнезда, состоящего из почвенных комков и клубней, планчатый транспортёр устройства имеет длину 1 м, ширину 1 м, 43 прутка диаметром 0,01 м и расстояние между прутками – 0,04 м.

Моделирование процесса сепарации клубневого гнезда в программе Ansys Rocky DEM с определением степени разрушения почвенных комков и степени их сепарации между прутками выполнено при следующих режимах работы планчатого транспортера: частота вращения изменялась от 10 мин¹

до 70 мин¹, амплитуда колебаний – от 0,01 м до 0,03 м. Установлено, что при совершении работы 1,4...8,9 Дж наблюдается эффективное разрушение почвенных комков при частоте колебаний транспортера 45...60 мин¹ и амплитуде колебаний 0,03 м.

Литература

1. Калинин А. Б., Теплинский И. З., Кудрявцев П.П. Почвенное состояние в интенсивной технологии // Картофель и овощи. 2016. № 2. С. 35–36.
2. Современные технологии и специальная техника для картофелеводства / А. Ю. Измайлов, Н. Н. Колчин, Я. П. Лобачевский и др. // Сельскохозяйственные машины и технологии. 2015. № 3. С. 43-47.
3. Комбикормовый цех для сельскохозяйственного предприятия / П.А. Савиных, Ю.В. Сычугов, В.А. Казаков и др. // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. 2018. № 6. С. 131-137.
4. Гаспарян И. Н. Защита картофеля от ризоктониоза. Вестник Федерального государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Московский государственный агроинженерный университет имени В. П. Горячкина». 2014. № 3. С. 22-24.
5. Овес Е.В., Гаитова Н.А., Шишкина О.А. Индуцирование микроклубнеобразования новых перспективных сортов картофеля в асептической культуре // Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2020. № 15 (4) С. 48-54. doi:10.12737/2073-0462-2021-48-54
6. Определение точек бифуркации в функционировании системы «почва- растение- воздух» / И. И. Максимов, М. Н. Калимуллин, Е. П. Алексеев и др. // Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2023. Т. 18. №2(70). С. 94-101. –doi 10.12737/2073-0462-2023-94-101.
7. Особенности взаимодействия винтового рыхлителя с почвой / И.С. Мухаметшин, А.Р. Валиев, А.В. Алешкин и др. // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. 2018. № 4. С. 50-57.
8. Design optimization and experiment on potato haulm cutter / J.Q. Lü, Q.Q. Shang, Y. Yang, et al. // Transactions of the CSAM. 2016. Vol. 47. No. 5. P. 106-114.
9. Использование цифровых технологий в растениеводстве для хранения и анализа данных истории полей / Н. В. Степных, Е. В. Нестерова, А. М. Заргарян и др. // Достижения науки и техники АПК. 2022. Т. 36. № 3. С. 97–102. doi: 10.53859/02352451_2022_36_3_97
10. Беляева А. С., Никитина А. А. О проблемах и перспективах цифровой трансформации отечественного АПК // Достижения науки и техники АПК. 2023. Т. 37. №1. С. 34-40. doi: 10.53859/02352451_2023_37_1_34
11. Дорохов А.С., Аксенов А.Г., Сибирёв А.В. Результаты сравнительных лабораторных исследований очистки корнеплодов моркови и клубней картофеля ультразвуковым воздействием // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. 2020. № 2. С. 6 – 15.
12. Метод расчета траектории движения зерна в пневмомеханическом шелушителе / Ю. Ф. Лачуга, Р. И. Ибяттов, Б. Г. Зиганшин и др. // Российская сельскохозяйственная наука. 2021. Т.6. С. 64-67.
13. Сабиров Р. Ф., Валиев А. Р., Мухамадьяров Ф. Ф. Обоснование конструктивно-технологических параметров устройства для обработки семян биопрепаратами // Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2021. Т. 16. № 3(63). С. 84-89. doi: 10.12737/2073-0462-2021-84-89
14. Актуальные проблемы и приоритетные направления развития картофелеводства / А. В. Коршунов, Е. А. Симаков, Ю. Н. Лысенко и др. // Достижения науки и техники АПК. 2018. Т. 32. № 3. С. 12-20. doi: 10.24411/0235-2451-2018-10303
15. Результаты лабораторных исследований сепарирующей системы с тепловой энергией очистки машины для уборки корнеплодов / А. С. Дорохов, А. В. Сибирёв, А. Г. Аксенов и др. // Сельскохозяйственные машины и технологии. 2022. № 1. С. 19-26.
16. Kalinin A. B., Teplinsky I. Z., Kudryavtsev P. P. Soil condition in intensive technology // Potatoes and vegetables. 2016. No. 2. P. 35-36.
17. Abd El-Rahman M. M. A. Development and Performance Evaluation of a Simple Grading Machine Suitable for Onion Sets // Journal of Soil Sciences and Agricultural Engineering. 2014. Vol. 2. P. 213-226. doi:10.21608/jssae.2011.55418
18. Review Paper Based on Design and Development of an Onion Harvesting Machine / I. Dandekar, P. Akhilesh, P. Vishal , et al. // Journal of Information and Computational Science. 2019. Vol. 9. Vol 12. P. 333-337.
19. Research process of agricultural robot technology / T. Zhang, L. Yang, B. Chen et al. // Science China. 2010. Vol. 40. P. 71-87. (in Chinese).
20. Li P, Lee S, Hsu H. Review on fruit harvesting method for potential use of automatic fruit harvesting systems // Procedia Engineering. 2011. Vol. 23: P. 351–366

21. Field test of an autonomous cucumber picking robot / E. J. V. Henten, B. A. J. V. Tuij, J. Hemming // *Biosystems Engineering*. 2003. 86 (3). P. 305–313. URL: <https://www.semanticscholar.org/paper/Field-Test-of-an-Autonomous-Cucumber-Picking-Robot-Henten-Tuijl/d1d53340413ee984391c99c816c27d0c47e5a65b>

22. Development and performance analysis on cucumber harvesting robot system in greenhouse / C. Ji, Q. Feng, T. Yuan // *Robot*. 2011. Vol. 33(6). P. 726-730.

23. . A harvesting robot for small fruit in bunches based on 3-D stereoscopic vision / P. Tarrío, A. M. Bernardos, J. R. Casar et al. // *Computers in Agriculture and Natural Resources, 4th World Congress Conference, Florida, 2006*. P. 270–275. URL: https://www.researchgate.net/publication/290288775_Development_and_performance_analysis_on_cucumber_harvesting_robot_system_in_greenhouse

24. Feng Q., Wang X., Zheng W. A new strawberry harvesting robot for elevated-trough culture // *Int J Agric & Biol Eng*. 2012. Vol. 5(2). P. 1-8.

25. Analytical studies of machine-technological complexes for weed and phyto-cleaning of potato and vegetable crops in breeding and seed production / A. S. Dorokhov, A. G. Aksenov, A. V. Sibirev, et al. // *Agrarian scientific journal*. 2022. No. 4. P. 76-82.

26. Design and test of robotic harvesting system for cherry tomato // Q. C. Feng, W. Zou, P. F. Fan, et al. // *Int J Agric & Biol Eng*. 2018. Vol. 11 (1). P. 96-100.

References

1. Kalinin A. B., Teplinsky I. Z., Kudryavtsev P. P. Soil condition in intensive technology // *Potatoes and vegetables*. 2016. No. 2. P. 35-36.

2. Modern technologies and special equipment for potato growing / A. Yu. Izmailov, N. N. Kolchin, Ya. P. Lobachevsky, et al. // *Agricultural machinery and technologies*. 2015. No.3. P. 43-47.

3. Feed mill for an agricultural enterprise / P. A. Savinykh, Yu. V. Sychugov, V. A. Kazakov et al. // *Vestnik of Kursk State Agricultural Academy*. 2018. No.6. P. 131-137.

4. Gasparyan I. N. Protection of potatoes from rhizoctonia // *Vestnik of the Federal State Educational Institution of Higher Professional Education "Moscow State Agroengineering University named after V. P. Goryachkin"*. 2014. No.3. P. 22-24.

5. Oves E.V., Gaitova N.A., Shishkina O.A. Induction of microtuber formation of new promising potato varieties in aseptic culture // *Vestnik of Kazan State Agrarian University*. 2020. No.15 (4) P. 48-54. doi:10.12737/2073-0462-2021-48-54

6. Specification of bifurcation points in the functioning of the soil-plant-air system / I. I. Maksimov, M. N. Kalimullin, E. P. Alekseev, et al. // *Vestnik of Kazan State Agrarian University*. 2023. Vol. 18. No. 2 (70). P. 94-101. doi 10.12737/2073-0462-2023-94-101.

7. Features of interaction of a screw ripper with soil / I.S. Mukhametshin, A.R. Valiev, A.V. Aleshkin, et al. // *Vestnik of Ulyanovsk State Agricultural Academy*. 2018. No.4. P. 50-57.

8. Design optimization and experiment on potato haulm cutter / J.Q. Lü, Q.Q. Shang, Y. Yang, et al. // *Transactions of the CSAM*. 2016. Vol. 47. No.5. P. 106-114.

9. Usage of digital technologies in crop production for storing and analyzing field history data / N. V. Stepanykh, E. V. Nesterova, A. M. Zargaryan, et al. // *Dostizheniya nauki i tekhniki APK*. 2022. Vol. 36. No.3. P. 97–102. doi: 10.53859/02352451_2022_36_3_97

10. Belyaeva A. S., Nikitina A. A. On the problems and prospects of digital transformation of the domestic agro-industrial complex // *Dostizheniya nauki i tekhniki APK*. 2023. Vol. 37. No.1. P. 34-40. doi: 10.53859/02352451_2023_37_1_34

11. Dorokhov A. S., Aksenov A. G., Sibirev A. V. Results of comparative laboratory studies of cleaning carrot root crops and potato tubers by ultrasonic exposure // *Vestnik of Ulyanovsk State Agricultural Academy*. 2020. No.2. P. 6-15.

12. Method for calculating the trajectory of grain movement in a pneumatic-mechanical peeler / Yu.F. Lachuga, R.I. Ibyatov, B.G. Ziganshin, et al. // *Russian Agricultural Science*. 2021. Vol. 6. P. 64-67.

13. Sabirov, R.F., Valiev A.R., Mukhamadyarov F.F. Justification of the design and technological parameters of the device for treating seeds with biopreparations // *Vestnik of Kazan State Agrarian University*. 2021. Vol. 16. No.3 (63). P. 84-89. doi: 10.12737/2073-0462-2021-84-89

14. Current problems and priority directions of development of potato growing / A. V. Korshunov, E. A. Simakov, Yu. N. Lysenko et al. // *Achievements of science and technology of the agro-industrial complex*. 2018. Vol. 32. No.3. P. 12-20. doi: 10.24411/0235-2451-2018-10303

15. Results of laboratory studies of a separation system with thermal energy of cleaning a machine for harvesting root crops / A. S. Dorokhov, A. V. Sibirev, A. G. Aksenov et al. // *Agricultural machinery and technology*. 2022. No.1. P. 19-26.

16. Kalinin A. B., Teplinsky I. Z., Kudryavtsev P. P. Soil condition in intensive technology // *Potatoes and vegetables*. 2016. No.2. P. 35–36.

17. Abd El-Rahman M. M. A. Development and Performance Evaluation of a Simple Grading Machine Suitable for Onion Sets // *Journal of Soil Sciences and Agricultural Engineering*. 2014. Vol. 2. P. 213-226. doi:doi:10.21608/jssae.2011.55418
18. Review Paper Based on Design and Development of an Onion Harvesting Machine / I. Dandekar, P. Akhilesh, P. Vishal , et al. // *Journal of Information and Computational Science*. 2019. Vol. 9. Vol. 12. P. 333-337.
19. Research process of agricultural robot technology / T. Zhang, L. Yang, B. Chen et al. // *Science China*. 2010. Vol. 40. P. 71-87.
20. Li P., Lee S., Hsu H. Review on fruit harvesting method for potential use of automatic fruit harvesting systems // *Procedia Engineering*. 2011. Vol . 23. P. 351-366
21. Field test of an autonomous cucumber picking robot / E. J. V. Henten, B. A. J. V. Tuij, J. Hemming // *Biosystems Engineering*. 2003. 86 (3). P. 305–313. URL: <https://www.semanticscholar.org/paper/Field-Test-of-an-Autonomous-Cucumber-Picking-Robot-Henten-Tuijl/d1d53340413ee984391c99c816c27d0c47e5a65b>
22. Development and performance analysis on cucumber harvesting robot system in greenhouse / C. Ji, Q. Feng, T. Yuan // *Robot*. 2011. Vol. 33(6). P. 726–730.
23. . A harvesting robot for small fruit in bunches based on 3-D stereoscopic vision / P. Tarrío, A. M. Bernardos, J. R. Casar et al. // *Computers in Agriculture and Natural Resources, 4th World Congress Conference, Florida, 2006*. P. 270–275. URL: https://www.researchgate.net/publication/290288775_Development_and_performance_analysis_on_cucumber_harvesting_robot_system_in_greenhouse
24. Feng Q., Wang X., Zheng W. A new strawberry harvesting robot for elevated-trough culture // *Int J Agric & Biol Eng*. 2012. Vol. 5(2). P. 1–8.
25. Analytical studies of machine-technological complexes for weed and phyto-cleaning of potato and vegetable crops in breeding and seed production / A. S. Dorokhov, A. G. Aksenov, A. V. Sibirev, et al. // *Agrarian scientific journal*. 2022. No.4. P. 76-82.
26. Design and test of robotic harvesting system for cherry tomato // Q. C. Feng, W. Zou, P. F. Fan, et al. // *Int J Agric & Biol Eng*. 2018. Vol. 11 (1). P. 96–100.