

На правах рукописи



Левченко Анастасия Владимировна

**ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ
И РАЗРАБОТКА МАШИНЫ
ДЛЯ УДАЛЕНИЯ И ПОГРУЗКИ ПОЧВЫ ИЗ ТЕПЛИЦ**

Специальность 05.20.01 – Технологии и средства
механизации сельского хозяйства

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Саратов 2022

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Саратовский государственный аграрный университет имени Н. И. Вавилова».

Научный руководитель – **Павлов Павел Иванович**,
доктор технических наук, профессор

Официальные оппоненты: **Соколов Николай Михайлович**,
доктор технических наук, главный научный сотрудник ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Юго-Востока»

Купряшкин Владимир Федорович,
кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой мобильных энергетических средств и сельскохозяйственных машин имени профессора А. И. Лещанкина Института механики и энергетики, ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Мордовский государственный университет имени Н. П. Огарёва»

Ведущая организация – ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный аграрный университет».

Защита диссертации состоится «07» сентября 2022 г. в 12 час. на заседании диссертационного совета Д 220.061.03 на базе федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Саратовский государственный аграрный университет имени Н. И. Вавилова» по адресу: г. Саратов, ул. Советская, 60, ауд. 325.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВО «Саратовский ГАУ» и на сайте www.sgau.ru

Отзывы на автореферат направлять ученому секретарю диссертационного совета по адресу: 410012, г. Саратов, Театральная пл., 1. E-mail: chekmarev.v@yandex.ru

Автореферат разослан « » _____ 2022 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета



Чекмарев
Василий Васильевич

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. Обеспечение населения свежей продукцией, производимой тепличными предприятиями, является важной составляющей Доктрины продовольственной безопасности Российской Федерации, в соответствии с которой развитие этой отрасли овощеводства является одним из основных приоритетов государственной политики в сельском хозяйстве.

Тепличное земледелие продолжает широко развиваться, в связи с растущим спросом на получаемую продукцию, обусловленным её высокой урожайностью и качеством. Однако дальнейшее увеличение производства сдерживается отсутствием специализированной техники. Для механизации производственных процессов, связанных с почвой и почвенными смесями, используют приспособленные технические средства из других отраслей сельского хозяйства. Параметры рабочих органов этих машин не в полной мере соответствуют условиям теплиц, что приводит к снижению эффективности их применения.

«Грунтовый» способ растениеводства в теплицах предусматривает необходимость постоянного возобновления плодородия почвы, ухода и контроля за ее состоянием. Перед использованием почву приготавливают, далее ее равномерно распределяют по поверхности теплицы, высаживают рассаду возделываемых культур, выращивают продукцию. Со сменой культуры удаляют санитарный (отработанный) слой почвы из теплицы.

От качества почвы во многом зависит будущая урожайность выращиваемых культур. Почву в теплицах используют от одного года до трех лет. По истечении этого срока она теряет питательные вещества. Поэтому после сбора урожая и уборки растительных остатков необходимо удалить санитарный слой почвы из теплицы.

Специализированные машины и механизмы для удаления и погрузки санитарного слоя почвы в теплицах в настоящее время не выпускают. Технические средства в частности, тракторы с бульдозерной навеской, навесные ковшовые погрузчики, применяемые для работы с тепличной почвой, требуют многократного заезда в теплицу и удаляют почву небольшими частями. Вследствие этого производительность таких машин невысока при значительных энергозатратах. Кроме того, не всегда обеспечивается полное уда-

ление санитарного слоя из-за необходимости маневрирования при работе.

Таким образом, обоснование параметров и разработка машины для удаления санитарного слоя тепличной почвы, имеющей высокую производительность и рациональную энергоёмкость, представляют актуальную научную задачу.

Степень разработанности темы. Вопросами процесса резания и взаимодействия с почвой рабочих органов сельскохозяйственных машин занимались В. П. Горячкин, Н. Г. Домбровский, И. Я. Айзеншток, А. Н. Зеленин, В. Д. Абергауз, Ю. А. Ветров, Е. И. Берестов, И. А. Недорезов, И. Б. Борисенко, В. М. Бойков, С. В. Старцев, Н. М. Соколов и другие ученые.

Анализ показывает, что для обоснования параметров специализированных машин, предназначенных для удаления почвы из теплиц, существующих исследований недостаточно. Для работы с тепличной почвой применяют приспособленные технические средства из других областей сельскохозяйственного производства, что приводит к снижению производительности и увеличению общих затрат.

Цель работы – повышение производительности и снижение энергоёмкости процесса удаления и погрузки санитарного слоя почвы из теплицы путём обоснования конструктивно-режимных параметров навесной машины.

Задачи исследований:

1. Провести анализ технических средств, применяемых для удаления санитарного слоя почвы из теплиц, и разработать их классификацию.

2. Разработать технологический процесс одновременного удаления и погрузки санитарного слоя почвы в условиях защищенного грунта и новую конструкционно-технологическую схему навесной машины.

3. Теоретически исследовать процесс взаимодействия рабочих органов предлагаемой навесной машины с почвой и получить аналитические выражения для определения усилий взаимодействия, приводной мощности, производительности и энергоёмкости.

4. Провести экспериментальные исследования и получить зависимости и уравнения регрессии, описывающие влияние параметров

навесной машины на энергоёмкость, мощность, производительность и качество удаляемого санитарного слоя почвы;

5. Провести производственные испытания и дать технико-экономическую оценку результатов внедрения.

Объект исследования – технологический процесс удаления и погрузки санитарного слоя почвы из теплиц рабочими органами навесной машины.

Предмет исследования – взаимосвязь показателей эффективности удаления и погрузки санитарного слоя почвы в теплицах с конструктивными параметрами и режимами движения рабочих органов навесной машины.

Научная новизна работы состоит:

- в разработке классификации машин и устройств для удаления санитарного слоя почвы в теплицах и предложенной на её основе новой функциональной и конструкционной схеме навесной машины с рабочим органом напорного действия;

- в разработке для условий теплиц технологического процесса одновременного удаления и погрузки санитарного слоя почвы на основе использования предложенной навесной машины с рабочими органами напорного действия;

- в теоретическом описании процессов взаимодействия ковша и отвала предложенной машины с тепличной почвой и получении математических выражений для производительности, мощности для привода машины и энергоёмкости процесса удаления;

- в экспериментальном исследовании влияния параметров и режимов работы навесной машины на производительность, мощность, необходимую для привода, и энергоёмкость удаления санитарного слоя почвы из теплиц.

Теоретическая и практическая значимость работы состоит в механико-математическом анализе взаимодействия рабочих органов навесной машины – ковша и отвала – с почвой санитарного слоя с описанием мощности, необходимой для привода, производительности и энергоёмкости, а также в экспериментально-теоретическом обосновании конструктивно-технологических параметров рабочего органа навесной машины.

Разработанная навесная машина с обоснованными параметрами прошла испытания в АО «Совхоз – Весна» Саратовской области.

Результаты проведённых исследований рекомендуются для проектно-конструкторских предприятий при разработке и проектировании навесных машин для одновременного удаления и погрузки санитарного слоя почвы в теплицах.

Методология и методы исследования. Методология исследований построена на системном подходе, позволяющем раскрыть целостность объекта исследований и взаимообусловленность связей между конструктивными и режимными параметрами навесной машины. Теоретические исследования проведены методом математического анализа с использованием законов и методов механики. Экспериментальные исследования проведены с использованием методов математической статистики, многофакторного планирования, существующих, а также разработанных на их основе методик. Результаты экспериментов обработаны на ПЭВМ с помощью программного обеспечения Mathcad и Microsoft Excel «Статистический анализ данных».

Научные положения, выносимые на защиту:

- технологический процесс одновременного удаления и погрузки санитарного слоя тепличной почвы за счет применения навесной машины с рабочим органом напорного действия;
- аналитические зависимости, описывающие изменение мощности, необходимой для привода, производительности и энергоёмкости процесса удаления санитарного слоя почвы от скорости поступательного движения, угла наклона рабочих поверхностей ковша и отвала машины, высоты слоя и других конструктивных и эксплуатационных параметров;
- результаты обоснования конструктивных параметров и режимов работы навесной машины с рабочим органом напорного действия, соответствующих рациональным производительности и энергоёмкости удаления и погрузки санитарного слоя почвы в теплицах.

Степень достоверности и апробации результатов. Достоверность результатов экспериментов подтверждена необходимым количеством проведённых исследований, осуществлением статистического анализа полученных данных при помощи типового программного обеспечения; применением современных методик про-

ведения эксперимента с использованием поверенных измерительных приборов.

Основные положения диссертационной работы были доложены и апробированы на конференциях профессорско-преподавательского состава и аспирантов по итогам научно-исследовательской, учебно-методической и воспитательной работы за 2019–2022 гг. (ФГБОУ ВО «Саратовский ГАУ»); Международной научно-практической конференции «Наука и образование в XXI веке: современные векторы развития и перспективы» (Саратов, 2020 г.); Национальной (Всероссийской) научно-практической конференции «Актуальные проблемы и перспективы инновационной агроэкономики» (Саратов, 2020 г.); V Международной научной конференции по агробизнесу, экологической технике и биотехнологиям (Красноярск, 2021 г.); XXXV Международной научно-технической конференции имени В. В. Михайлова «Проблемы экономичности и эксплуатации автотракторной техники» (Саратов, 2022 г.).

По результатам исследований опубликовано 9 печатных работ, в том числе 5 в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных ВАК Минобрнауки РФ, получен 1 патент РФ на изобретение. Общий объём публикаций составляет 2,5 п.л., из которых 0,2 п.л. принадлежат лично соискателю.

Диссертация состоит из введения, 5 глав, заключения, списка литературы из 122 наименований. Работа изложена на 156 страницах машинописного текста, содержит 6 таблиц, 57 рисунков и 5 приложений.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во **введении** обоснована актуальность исследований в решении проблем при удалении санитарного слоя почвы в теплицах, отражены научная новизна, теоретическая и практическая значимость.

В **первой главе «Состояние вопроса. Цель и задачи исследований»** представлен анализ существующих технологий и технических средств, применяемых при удалении санитарного слоя почвы из теплиц, на основании которого установлено, что специализированных машин для удаления санитарного слоя почвы в теплицах серийно не выпускают. Разработана классификация технических средств, применяемых для удаления и погрузки почвы в теплицах,

сформулированы основные конструктивно-технологические признаки при разработке машины непрерывного действия с рабочим органом напорного типа и отгрузочным транспортёром.

Проведенный анализ позволил сделать вывод о том, что существующих исследований рабочих органов машин для применения в теплицах недостаточно. Имеющиеся исследования направлены на обоснование рабочих органов для работы с грунтами и почвами, которые имеют физико-механические свойства, значительно отличающиеся от свойств тепличных почв и почвенных смесей. Отсутствие исследований и научного обоснования параметров рабочих органов технических средств, используемых для удаления санитарного слоя тепличной почвы, не позволяет обеспечить создание машин, адаптированных к условиям тепличного производства. В результате возрастает трудоемкость и энергоёмкость, что снижает эффективность данного процесса в целом.

Во второй главе *«Теоретическое исследование процесса удаления санитарного слоя почвы навесной машиной в теплицах»* приведена предложенная конструкционно-технологическая схема навесной машины для удаления и погрузки почвы в теплицах (рисунок 1). Она содержит несущую раму 1, транспортер 2, ковш 3, механизм навески 4 и механизм привода 5 (патент РФ на изобретение № 2621041). Ковш 3 соединен с транспортером 2 посредством нижних 6 и верхних 7 тяг, а механизм навески 4 и механизм привода 5 закреплены на верхней стенке ковша 3. Для подачи отделенной почвы к транспортеру сбоку установлены отвалы 8. Такое расположение механизмов навески и привода позволяет уменьшить габаритные размеры машины, сделать ее более компактной, что необходимо при работе в условиях теплиц. Транспортер расположен сзади ковша, нижней частью за кромкой его днища для обеспечения захвата поступающей массы почвы.

Основными параметрами навесной машины для удаления и погрузки почвы являются (рисунок 2):

- скорость движения при уборке почвы из теплицы v_m , м/с;
- ширина режущей кромки B , мм;
- высота почвенного пласта h , мм;
- угол наклона поверхности ковша γ , град.

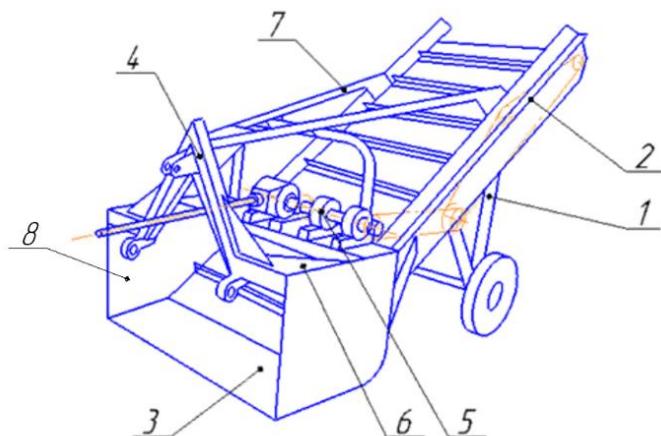


Рисунок 1 – Схема навесной машины для удаления и погрузки почвы в теплицах:
 1 – несущая рама; 2 – планчатый транспортер; 3 – ковш; 4 – механизм навески;
 5 – механизм привода; 6 – нижняя тяга; 7 – верхняя тяга; 8 – отвал

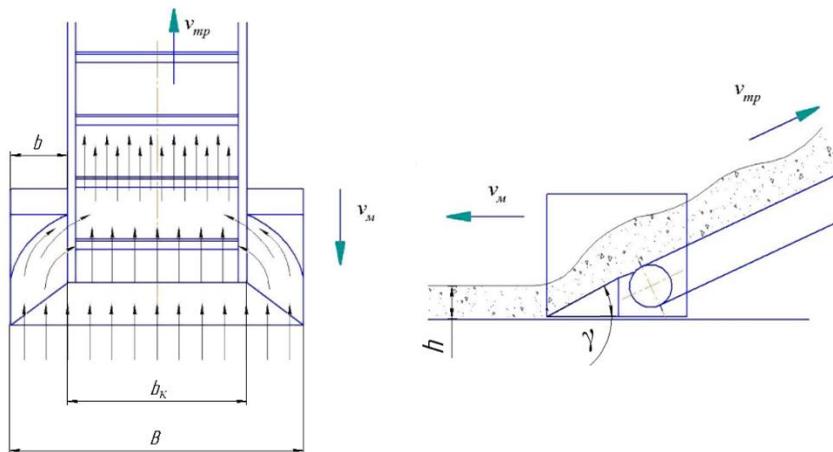


Рисунок 2 – Конструктивные параметры навесной машины для удаления и погрузки почвы: v_m – скорость движения машины при уборке почвы из теплицы; $v_{тр}$ – скорость ленты транспортера; B – ширина режущей кромки; h – высота почвенного пласта; γ – угол наклона поверхности ковша; b – ширина отвала; b_k – ширина ковша без отвала

Сопротивление отделению слоя почвы будут оказывать следующие силы (рисунок 3):

F_p – сила сопротивления резанию почвы передней кромкой ковша;

F_k – сила сопротивления движению ковша;

$F_{\text{трк}}$ – сила трения о поверхность ковша;

F_d – сила, необходимая для деформации почвы на ковше;

$F_{\text{от}}$ – сила сопротивления движению боковых стенок отвала;

$F_{\text{тро}}$ – сила трения о поверхность отвала;

F_o – сила, необходимая для деформации почвы на отвале;

N_o – реакция поверхности отвала;

N_k – реакция поверхности ковша.

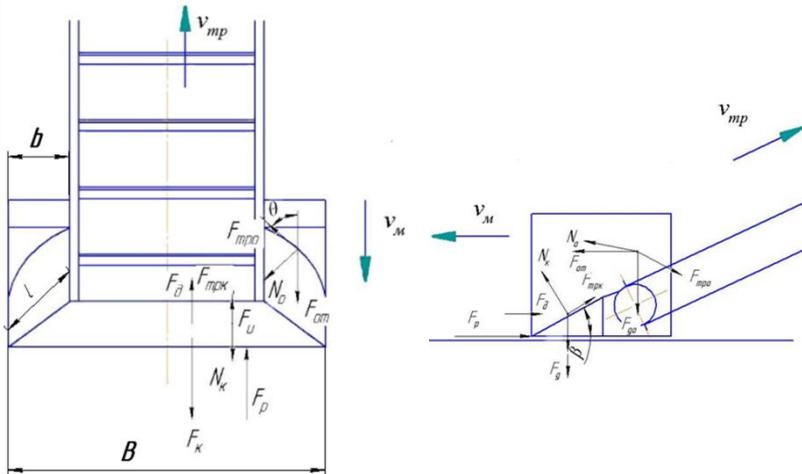


Рисунок 3 – Схема сил, действующих на ковш при отделении слоя тепличной почвы от основного массива

Теоретически на частицы также действует сила инерции $F_{\text{и}}$, однако с учетом движения машины почва в первоначальный момент времени относительно земли (по оси OX) остается фактически неподвижной, поэтому $F_{\text{и}}$ учтем в процессе движения почвы по поверхности ковша. По оси OY добавляется сила тяжести F_g .

Сумма проекций сил сопротивления на ось OX :

$$\sum F_x = -F_k^x - F_{\text{от}}^x = -F_p - 2F_{\sigma} - \frac{(F_{\text{и}} + F_{\text{трк}})}{\cos \gamma} - 2F_o - \frac{(F_{\text{тро}} \cos \theta)}{\cos \gamma}. \quad (1)$$

Сумма проекций сил сопротивления на ось OY :

$$\sum F_y = -F_g - \frac{(F_u + F_{\text{трк}})}{\sin \gamma} - \frac{(F_{\text{тро}} \sin \theta)}{\sin \gamma}. \quad (2)$$

После подстановки входящих в силы параметров с учетом направления движения почвы и машины получим:

$$\begin{aligned} \sum F_x = F_k^x + F_{\text{от}}^x = \tau_p B \delta + 2\sigma_d B h + \frac{(ma + m_k g f_k)}{\cos \gamma} + \\ + 2\tau_o l s + \frac{(m_o g f_o \cos \theta)}{\cos \gamma}; \end{aligned} \quad (3)$$

$$\sum F_y = mg + \frac{(ma + m_k g f_k)}{\sin \gamma} + \frac{(2m_o g f_o \sin \theta)}{\sin \gamma}, \quad (4)$$

где τ_p – напряжение резания почвы, Н/м²; B – ширина режущей кромки, м; m – масса почвы при отделении режущей кромкой, кг; δ – толщина режущей кромки, м; σ_d – напряжение разрыва почвенного пласта, Н/м²; b – ширина почвенного пласта, м; h – высота почвенного пласта, м; m_k – масса почвы на ковше, кг; a – ускорение частиц почвы, м/с²; g – ускорение свободного падения, м/с²; f_k – коэффициент трения почвы о поверхность ковша; τ_o – напряжение сдвига частей почвы на отвале, Н/м²; l – длина боковой проекции отвала, м; s – высота слоя почвы на отвале, м; m_o – масса почвы на отвале, кг; f_o – коэффициент трения почвы о поверхность отвала; γ – угол наклона поверхности отвала, град.; θ – средний угол поверхности отвала, град.

Мощность P_r для перемещения отделенной почвы по горизонтали (по оси OX – см. рисунок 3):

$$\begin{aligned} P_r = \sum F_x v = \\ = \left\{ \tau_p B \delta + 2\sigma_d B h + \frac{\rho (B h v^2 + b_k h_k v t g f_k)}{\cos \gamma} + 2\tau_o l s + \frac{2(\rho b h_o v_o t g f_o \cos \theta)}{\cos \gamma} \right\} v, \end{aligned} \quad (5)$$

где b_k – ширина почвенного слоя на ковше, м; h_k – высота почвенного слоя на ковше, м; h_o – высота слоя почвы на отвале, м; v_o – скорость движения почвы на отвале, м/с; v – скорость движения почвы, м/с, $v \approx v_m$.

Мощность P_{Π} для подъёма отделенной почвы по поверхности отвала при работе машины:

$$P_{\Pi} = \sum F_y v_y = \left(\rho B h v t g + \frac{\rho (B h v^2 + b_k h_k v t g f_k)}{\sin \gamma} + \frac{2(\rho b h_o v_o t f_o \sin \theta)}{\sin \gamma} \right) v \sin \gamma. \quad (6)$$

Общая мощность на выполнение процесса удаления почвенного слоя из теплиц:

$$\begin{aligned} \sum P &= P_0 + P_r + P_{\Pi}; \quad (7) \\ \sum P &= P_0 + \\ &+ \left\{ \tau_p B \delta + 2\sigma_d B h + \frac{\rho (B h v^2 + b_k h_k v t g f_k)}{\cos \gamma} + 2\tau_o l_s + \frac{2(\rho b h_o v_o t f_o \cos \theta)}{\cos \gamma} \right\} v + \\ &+ \left(\rho B h v t g + \frac{\rho (B h v^2 + b_k h_k v t g f_k)}{\sin \gamma} + \frac{2(\rho b h_o v_o t f_o \sin \theta)}{\sin \gamma} \right) v \sin \gamma, \quad (8) \end{aligned}$$

где P_0 – мощность, необходимая для привода машины в процессе работы (мощность холостого хода), Вт.

Производительность Q_M навесной машины для удаления и погрузки почвы в теплицах:

$$Q_M = \rho B h v \left(1 - \sin^2 \theta - \left(1 - \frac{b_k}{B} \right) \frac{l_{от}}{l_{бно}} \right), \quad (9)$$

где ρ – плотность материала, кг/м³; B – ширина захвата отвала, м; h – высота слоя почвы, м; v – скорость движения потока материала (или машины), м/с; γ – угол наклона рабочей поверхности отвала; b – ширина боковой поверхности отвала, м; $l_{от}$ – длина боковой поверхности отвала по образующей, м; $l_{бно}$ – длина проекции боковой поверхности отвала, м.

Энергоёмкость удаления слоя почвы предлагаемой машиной:

$$E_{уд} = [P_0 +$$

$$\begin{aligned}
& + \left\{ \tau_p B \delta + 2 \sigma_d B h + \frac{\rho (B h v^2 + b_k h_k v t g f_k)}{\cos \gamma} + 2 \tau_o l s + \frac{2 (\rho b h_o v_o t g f_o \cos \theta)}{\cos \gamma} \right\} v + \\
& + \left(\rho B h v t g + \frac{\rho (B h v^2 + b_k h_k v t g f_k)}{\sin \gamma} + \frac{2 (\rho b h_o v_o t g f_o \sin \theta)}{\sin \gamma} \right) v \sin \gamma / \\
& / \left[\rho B h v (1 - \sin^2 \gamma) - \left(1 - \frac{b_k}{B} \right) \frac{l_{от}}{l_{по}} \right]. \quad (10)
\end{aligned}$$

В третьей главе «Программа и методика экспериментальных исследований» изложены программа и методика экспериментальных исследований и производственных испытаний, дано описание опытного образца навесной машины для удаления и погрузки почвы (рисунок 4).



Рисунок 4 – Прицепная машина для удаления и погрузки санитарного слоя почвы

В ходе исследований установлены физико-механические свойства тепличной почвы: плотность, коэффициент трения, сопротивление деформациям (сжатию и сдвигу).

В соответствии с задачами, поставленными в работе, и теоретическими разработками программа исследований включала в себя серию двухфакторных экспериментов. Изучали влияние конструктивных и режимных параметров: поступательной скорости; высоты удаляемого слоя почвы; угла наклона рабочей поверхности отвала

на критерии оптимизации. Для замера и для регистрации силовых взаимодействий использован тензометрический измерительный комплекс МИГ-018.

В четвертой главе «*Результаты экспериментальных исследований*» представлены результаты исследований физико-механических свойств почв: нормальных, уплотненных, сильно уплотненных. Экспериментально измеряли массу почвы и время ее отгрузки, крутящий момент и тяговое усилие агрегата. Исследовали влияние высоты слоя почвы, угла наклона рабочей поверхности отвала и поступательной скорости машины на ее производительность и энергоемкость процесса. На основании полученных данных составлены уравнения регрессии и графические зависимости.

Графическая зависимость производительности машины для удаления и погрузки почвы от высоты слоя почвы и поступательной скорости машины представлена на рисунке 5. Уравнение регрессии имеет вид:

$$Q = 0,052 + 35,068v + 0,01h - 108,854v^2 + 0,26vh + 5,195 \cdot 10^{-5}h^2. \quad (11)$$

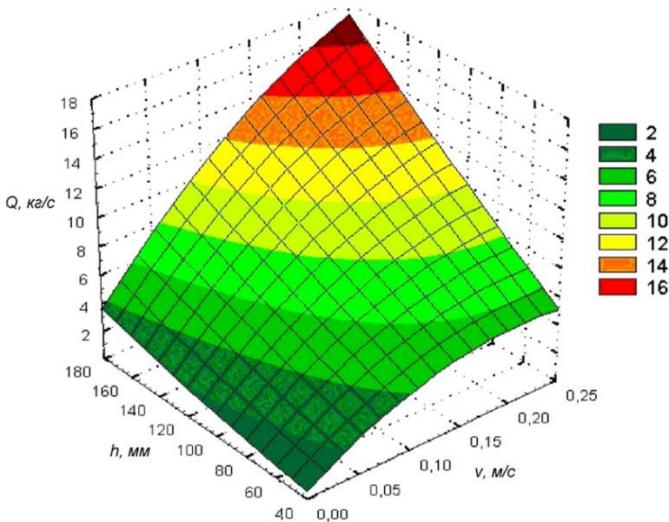


Рисунок 5 – Влияние высоты слоя почвы и поступательной скорости на производительность машины для удаления почвы

Анализ графической зависимости производительности машины от поступательной скорости и высоты слоя почвы, а также анализ уравнения (11) позволяют сделать вывод о том, что с увеличением высоты слоя производительность возрастает практически прямо пропорционально. В проведенных экспериментальных исследованиях наибольшая производительность 16,4 кг/с получена при наибольших значениях высоты слоя почвы и поступательной скорости машины.

По результатам экспериментальных значений построена вероятностно-статистическая модель энергоемкости процесса удаления необходимого слоя почвы, которая графически представлена на рисунке 6. Уравнение регрессии имеет вид:

$$E = 1648,127 - 2786,11v - 14,116h + 8923,61v^2 + 2,625vh + 0,051h^2. \quad (12)$$

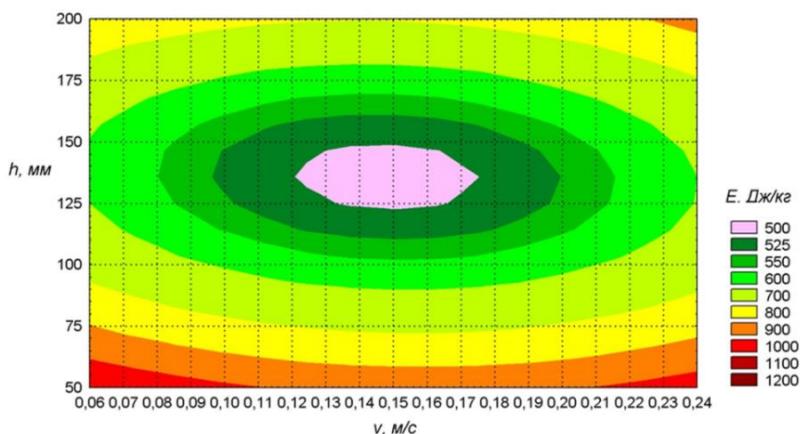


Рисунок 6 – Область значений скорости перемещения и высоты слоя почвы, соответствующая минимальной энергоемкости

Область минимальной энергоемкости расположена между значениями скорости движения машины 0,13–0,17 м/с и высоты удаляемого слоя почвы 0,125–0,145 м. Данные значения являются рациональными, их изменение приводит к росту энергоемкости.

Поверхность отклика зависимости производительности машины от поступательной скорости и угла наклона поверхности отвала представлена на рисунке 7.

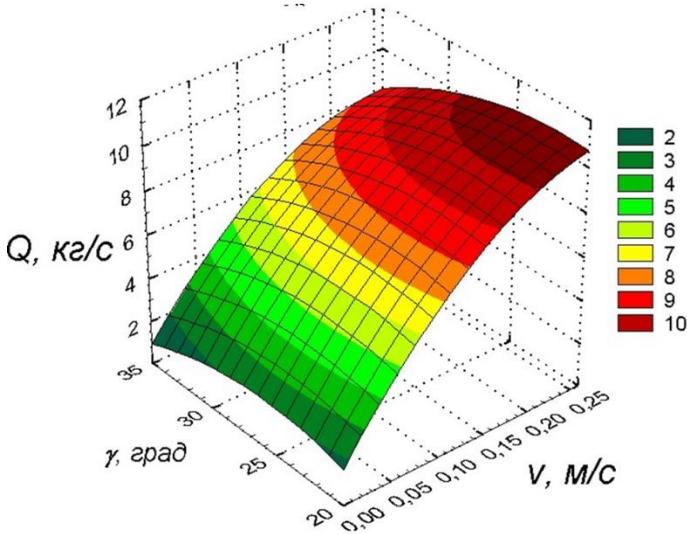


Рисунок 7 – Влияние поступательной скорости машины и угла наклона поверхности отвала на производительность удаления и погрузки почвы

Уравнение регрессии в данном случае имеет вид:

$$Q = -8,175 + 71,25v + 0,802\gamma - 104,167v^2 - 0,467v\gamma - 0,016\gamma^2, \quad (13)$$

Анализ поверхности отклика (см. рисунок 7) показывает отсутствие области оптимума. Максимальная производительность получена при наибольшем значении поступательной скорости и угле наклона $\gamma = 22^\circ \dots 24^\circ$.

По полученным данным влияния угла наклона поверхности отвала и поступательной скорости машины на энергоёмкость работы машины составлено вероятностно-статистическое уравнение:

$$E = 2107,39 - 2563,416v - 114,021\gamma + 8489,583v^2 - 3,3v\gamma + 2,342\gamma^2. \quad (14)$$

Соответствующая графическая зависимость представлена на рисунке 8.

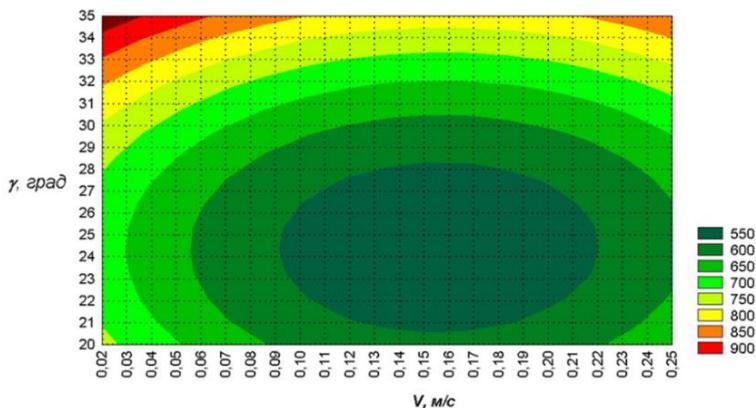


Рисунок 8 – Область оптимальных значений скорости перемещения и угла наклона поверхности отвала по энергоёмкости

Анализируя полученную зависимость, можно сделать вывод о том, что рациональные значения, при которых достигается наибольшая эффективность, составляют 0,14–0,17 м/с и 23°...26°. Изменение как поступательной скорости машины, так и угла наклона поверхности ковша от указанных значений приводит к увеличению энергоёмкости процесса.

Проведена оценка сходимости теоретических и экспериментальных зависимостей влияния высоты слоя почвы и угла наклона поверхности отвала на энергоёмкость процесса удаления и погрузки (рисунок 9). Расхождения не превышают 5 %.

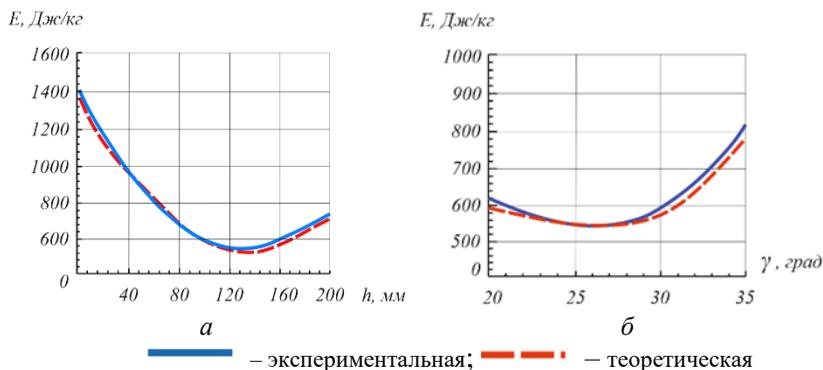


Рисунок 9 – Зависимость энергоёмкости процесса:
 а – от высоты слоя почвы; б – от угла наклона поверхности отвала

В пятой главе *«Технико-экономическая эффективность»* представлены результаты исследования работы машины для удаления и погрузки санитарного слоя тепличной почвы в производственных условиях (рисунок 10) и дана оценка экономической эффективности ее использования, которая подтверждается сравнением существующей технологии с предлагаемой.



Рисунок 10 – Производственные испытания прицепной машины

Экономический эффект от внедрения предлагаемой машины – 3820800 руб. за год в ценах на январь 2022 г., срок окупаемости дополнительных капитальных вложений составил 0,72 года.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе решена актуальная научная задача – удаление и погрузка санитарного слоя почвы в теплицах путем применения новой навесной машины для одновременного удаления и погрузки. Полученные теоретические и экспериментальные зависимости для производительности, мощности привода и энергоемкости позволяют обосновать рациональные параметры и режимы рабочих органов: поступательную

скорость машины, высоту удаляемого слоя почвы, угол наклона рабочей поверхности ковша. Использование предлагаемой машины в тепличном производстве обеспечивает повышение эффективности исследуемого технологического процесса.

1. На основании анализа литературных источников и производственного опыта установлено отсутствие специализированных технических средств для удаления тепличной почвы. Существующие технологические схемы основаны на применении бульдозеров, бульдозерных навесок, погрузчиков периодического действия и самоходных шасси, что обуславливает высокие трудоемкость и энергоемкость процесса.

2. Разработана технологическая схема одновременного удаления и погрузки санитарного слоя почвы, исключая применение бульдозера и специализированного погрузчика, что значительно повысит производительность и снизит энергоемкость. На основании разработанной классификации предложена конструктивно-технологическая схема навесной машины для удаления и погрузки почвы в теплицах (патент РФ на изобретение № 2621041), включающая в себя рабочий орган напорного действия, состоящий из ковша и отвалов, и отгрузочный транспортер.

3. Получены аналитические выражения, связывающие усилия взаимодействия с основными параметрами рабочих органов и физико-механическими свойствами тепличной почвы – выражения (3), (4), мощности для привода – выражение (8), производительности – выражение (9) и энергоёмкости удаления и погрузки санитарного слоя почвы – выражение (10). Основное влияние при установленных физико-механических свойствах тепличной почвы оказывают: поступательная скорость машины, высота слоя почвы, угол наклона рабочей поверхности ковша и ширина захвата.

4. В результате экспериментальных исследований установлены зависимости усилия для перемещения машины в процессе работы, мощности привода, производительности и энергоемкости от конструктивно-режимных параметров рабочих органов. Максимальная производительность работы машины 16,4 кг/с в исследуемом диапазоне параметров достигается при значениях высоты удаляемого слоя почвы $h = 180$ мм и поступательной скорости машины $v = 0,25$ м/с. Теоретическими и экспериментальными исследованиями установлено, что

рациональная энергоёмкость $E = 560...590$ Дж/кг достигается при угле наклона рабочей поверхности ковша $\gamma = 23^\circ...26^\circ$; поступательной скорости $v = 0,14...0,17$ м/с и высоте слоя почвы $h = 0,125...0,145$ м.

5. При использовании предлагаемых технических решений получен экономический эффект 3820800 руб. за год в ценах на январь 2022 г., срок окупаемости дополнительных капитальных вложений составил 0,72 года.

РЕКОМЕНДАЦИИ ПРОИЗВОДСТВУ

При практическом использовании машины для удаления и погрузки тепличной почвы необходимо обосновать производительность процесса. На основании установленной производительности провести расчет конструктивно-режимных параметров, обеспечивающих рациональную энергоёмкость.

Количество транспортных средств, используемых в технологическом процессе, необходимо определять в каждом конкретном случае в соответствии с расстояниями вывоза удаленной почвы и объемами работ.

ПЕРСПЕКТИВЫ ДАЛЬНЕЙШЕЙ РАЗРАБОТКИ ТЕМЫ

Исследовать различные материалы для рабочих поверхностей предлагаемой машины с целью дальнейшего снижения энергоёмкости за счет уменьшения коэффициентов трения и сопротивлений движению.

Обосновать параметры рабочих органов машины при удалении сильно уплотнённых почв, образующихся в теплице в результате многолетнего использования.

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ ДИССЕРТАЦИИ ОПУБЛИКОВАНЫ В СЛЕДУЮЩИХ РАБОТАХ

*Публикации в рецензируемых научных изданиях,
рекомендованных ВАК Минобрнауки РФ*

1. Павлов, П. И. Комплекс машин для работы с почвой в тепличном производстве / П. И. Павлов, А. О. Везиров, А. В. Ракутина (Левченко), Д. В. Мухин // Аграрный научный журнал. – 2016. – № 7. – С. 51–53.

2. Павлов, П. И. Результаты экспериментальных исследований прицепной машины для удаления и погрузки почвы в теплицах / П. И. Пав-

лов, А. О. Везиров, В. В. Корсак, **А. В. Левченко** // Аграрный научный журнал. – 2020. – № 12. – С. 97–99.

3. *Везиров, А. О.* Результаты экспериментальных исследований процесса удаления и погрузки почвы в теплицах / А. О. Везиров, П. И. Павлов, **А. В. Левченко**, В. В. Корсак // Нива Поволжья. – 2020. – № 3 (56). – С. 135–141.

4. *Везиров, А. О.* Влияние конструктивных и режимных параметров на силовые характеристики машины для удаления и погрузки тепличного грунта / А. О. Везиров, П. И. Павлов, **А. В. Левченко**, В. В. Корсак // Вестник Курганской ГСХА. – 2021. – № 4 (40). – С. 53–58.

5. *Везиров, А. О.* Влияние конструктивных и режимных параметров на производительность машины для удаления и погрузки тепличного грунта / А. О. Везиров, П. И. Павлов, **А. В. Левченко**, В. В. Корсак // Естественные и технические науки. – 2021. – № 12 (163). – С. 332–334.

В рецензируемых научных изданиях иностранных баз данных Scopus и Web of Science

6. *Vezirov, A. O.* Investigation of the Interaction of the Working Bodies of the Soil Harvesting Machine with the Greenhouse Soil When Removing the Sanitary Layer / A. O. Vezirov, P. I. Pavlov, **A. V. Levchenko** // IOP Conference Series : Earth and Environmental Science. – Krasnoyarsk Science and Technology City Hall of the Russian Union of Scientific and Engineering. Krasnoyarsk, 2021. P. 52050.

Патенты

7. Пат. 2621041 С РФ, МПК В62D 63/00, МПК В65G 67/00, МПК E02F 3/60, МПК A01D 93/00. Прицепная машина для удаления и погрузки почвы в теплицах / П. И. Павлов, А. О. Везиров, Г. В. Левченко, **А. В. Ракутина (Левченко)** ; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО «Саратовский ГАУ». – № 2016100090 ; заявл. 11.01.2016 ; опубл. 31.05.2017, Бюл. № 16. – 5 с.

Публикации в других изданиях

8. *Павлов, П. И.* Технологическая схема и машина для удаления санитарного слоя грунта из теплиц / П. И. Павлов, **А. В. Левченко** // Актуальные проблемы и перспективы инновационной агроэкономики : сб. статей Национальной (Всероссийской) науч.-практ. конф. – Саратов, 2020. – С. 261–266.

9. *Levchenko, A. V.* Improvement of Internal Greenhouse Logistics When Working with Soil / A. V. Levchenko // Наука и образование в XXI веке : современные векторы развития и перспективы : сб. Международной науч.-практ. конф. / под ред. Э. Б. Калиниченко ; ФГБОУ ВО Саратовский ГАУ. – Саратов, 2020. – С. 17–20.

Подписано в печать 15.07.2022

Формат 60×84 1/16

Печ. л. 1,0

Тираж 100
