

**Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования «Саратовский государственный аграрный  
университет имени Н.И. Вавилова»**

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

**ДИССЕРТАЦИЯ**

на соискание ученой степени кандидата технических наук

Научный руководитель:  
д.т.н., профессор  
Павлов Павел Иванович

Саратов – 2022 г.

## СОДЕРЖАНИЕ

<b>ВВЕДЕНИЕ.....</b>	<b>5</b>
<b>1 СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА, ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЙ.....</b>	<b>12</b>
<b>1.1 Анализ технологий и производственных процессов в растениеводстве защищенного грунта.....</b>	<b>12</b>
<b>1.2 Почвы и почвенные смеси, используемые в растениеводстве защищенного грунта.....</b>	<b>18</b>
<b>1.3 Существующая технологическая схема удаления санитарного слоя почвы из теплицы, основанная на использовании бульдозерной навески.....</b>	<b>22</b>
<b>1.4 Анализ существующих технических средств, применяемых для удаления санитарного слоя почвы из теплицы.....</b>	<b>24</b>
<b>1.5 Классификация технических средств, применяемых для удаления и погрузки почвы.....</b>	<b>38</b>
<b>1.6 Анализ существующих исследований рабочих органов технических средств, применяемых для удаления почвы в теплицах.....</b>	<b>40</b>
<b>1.7 Цель и задачи исследований.....</b>	<b>47</b>
<b>1.8 Выводы по главе.....</b>	<b>47</b>
<b>2 ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА УДАЛЕНИЯ САНИТАРНОГО СЛОЯ ПОЧВЫ НАВЕСНОЙ МАШИНОЙ В ТЕПЛИЦАХ.....</b>	<b>49</b>
<b>2.1 Предлагаемая технологическая схема удаления и погрузки санитарного слоя почвы в теплицах.....</b>	<b>49</b>
<b>2.2 Предлагаемая конструкционно-технологическая схема навесной машины для удаления и погрузки санитарного слоя почвы.....</b>	<b>50</b>
<b>2.3 Конструктивные параметры рабочих органов навесной машины для удаления и погрузки почвы.....</b>	<b>52</b>

<b>2.4 Взаимодействие конструктивных элементов рабочих органов машины для удаления и погрузки с почвой.....</b>	<b>53</b>
<b>2.5 Мощность привода машины для удаления и погрузки почвы.....</b>	<b>57</b>
<b>2.6 Производительность машины для удаления и погрузки почвы в теплицах.....</b>	<b>59</b>
<b>2.7 Энергоёмкость.....</b>	<b>61</b>
<b>2.8 Выводы по главе.....</b>	<b>62</b>
<b>3 ПРОГРАММА И МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ.....</b>	<b>63</b>
<b>3.1 Методика исследования физико-механических свойств тепличной почвы.....</b>	<b>64</b>
<b>3.2 Описание экспериментальной установки.....</b>	<b>67</b>
<b>3.3 Программа и методика экспериментальных исследований.....</b>	<b>69</b>
<b>3.4 Последовательность проведения опытов.....</b>	<b>72</b>
<b>3.5 Выводы по главе.....</b>	<b>75</b>
<b>4 РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ.....</b>	<b>76</b>
<b>4.1 Физико-механические свойства санитарного слоя почвы.....</b>	<b>76</b>
<b>4.2 Экспериментальное исследование влияния высоты удаляемого слоя почвы и поступательной скорости машины на тяговое сопротивление.....</b>	<b>78</b>
<b>4.3 Исследование влияния высоты удаляемого слоя почвы и поступательной скорости машины на мощность, необходимую для привода.....</b>	<b>82</b>
<b>4.4 Влияние высоты слоя почвы и поступательной скорости машины на производительность удаления и погрузки почвы.....</b>	<b>84</b>
<b>4.5 Экспериментальное исследование влияния высоты слоя почвы и поступательной скорости машины на энергоёмкость удаления и погрузки.....</b>	<b>86</b>

<b>4.6 Влияние поступательной скорости машины и угла наклона поверхности ковша на усилие перемещения машины.....</b>	<b>88</b>
<b>4.7 Экспериментальное исследование влияния поступательной скорости и угла наклона поверхности ковша на мощность необходимую для привода машины.....</b>	<b>92</b>
<b>4.8 Изменение производительности удаления и погрузки почвы при различной поступательной скорости машины и углах наклона поверхности ковша.....</b>	<b>95</b>
<b>4.9 Влияние угла наклона поверхности ковша и поступательной скорости машины на энергоёмкость удаления и погрузки почвы.....</b>	<b>98</b>
<b>4.10 Выводы по главе.....</b>	<b>103</b>
<b>5 ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ.....</b>	<b>105</b>
<b>5.1 Производственные испытания машины для удаления и погрузки тепличной почвы.....</b>	<b>105</b>
<b>5.2 Расчёт технико-экономической эффективности.....</b>	<b>106</b>
<b>5.3 Выводы по главе.....</b>	<b>112</b>
<b>ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....</b>	<b>114</b>
<b>СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....</b>	<b>117</b>
<b>ПРИЛОЖЕНИЯ.....</b>	<b>131</b>

## ВВЕДЕНИЕ

Обеспечение населения свежей продукцией, производимой тепличными предприятиями, является важной составляющей Доктрины продовольственной безопасности Российской Федерации, в соответствии с которой развитие тепличного овощеводства является одним из основных приоритетов государственной политики в сельском хозяйстве [1].

На сегодняшний день выращивание продукции в теплицах является самой быстро развивающейся отраслью сельского хозяйства. Такое «производство является эффективным способом снабжения населения свежей продукцией в течение всего года, независимо от погодных условий» [2]. В теплицах выращивают овощи, цветы, рассаду и другие виды продукции растениеводства. «Согласно аналитическому отчету ассоциации «Теплицы России», самообеспеченность российского рынка тепличной продукцией в 2021 году составила 75%, а к 2023 году этот показатель должен вырасти до 88%» [3]. «По оценке экспертов, объем производства тепличной продукции в 2022 году составит 1 678,4 тысячи тонн, в 2023 вырастет до 1 800 тысяч тонн» [3].

«Существуют различные способы выращивания растений в тепличном земледелии. Несмотря на повсеместное распространение выращивания растений с использованием жидких искусственных субстратов – «гидропоника», грунтовое или почвенное тепличное земледелие по-прежнему находит широкое применение. В последнее время интерес к почвенному тепличному производству возрастает, что связано с увеличением спроса на экологически чистую продукцию, которую возможно вырастить с применением почвы» [2]. Об этом говорит развитие хозяйств, использующих такую технологию во многих странах.

Одним из самых трудоемких этапов данной технологии является периодическая смена верхнего санитарного («отработанного») слоя почвы после завершения периода вегетации растений и уборки растительных остатков. После нескольких лет повторного выращивания растений в почве увеличивается

популяция грибов и бактерий, возрастает ее засоленность и уменьшается пористость и влагоемкость, что приводит к деградации почвенного слоя.

Высота срезаемого слоя составляет 0,10-0,25 м, что обуславливает большие объёмы почвы, которые необходимо удалить и вывести из помещения теплицы. Данный технологический процесс также характеризуется высокой энергоёмкостью выполняемых работ и значительным количеством привлекаемого обслуживающего персонала.

В настоящее время специальных машин и агрегатов для данной операции серийно не производится. В отечественных хозяйствах удаление почвы выполняют различные машины из других отраслей или приспособленные агрегаты с применением ручного труда, что приводит к увеличению трудоёмкости и энергоёмкости данного процесса.

Разработка средств механизации для удаления санитарного (отработанного) слоя почвы в теплицах, позволяющих снизить энергозатраты и свести к минимуму применение ручного труда, представляет научную проблему, решение которой будет способствовать инновационному развитию отрасли органического земледелия.

#### **Актуальность темы исследования.**

Тепличное земледелие в закрытом грунте продолжает широко развиваться, в связи с растущим спросом, обусловленным высоким качеством получаемой продукции. Однако, дальнейшее увеличение производства сдерживается отсутствием специализированной техники. Для механизации производственных процессов с почвой и почвенными смесями используются приспособленные технические средства из других отраслей сельскохозяйственного производства. 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 почва приготавливается, далее равномерно распределяется по поверхности теплицы, высаживается рассада

возделываемых культур, выращивается продукция, со сменой культуры удаляется санитарный (отработанный) слой почвы из теплицы.

От качества почвы во многом зависит будущая урожайность выращиваемых культур. Почва в теплицах используется в течение одного года до трех лет. После использования она теряет питательные вещества. Поэтому после сбора урожая и уборки растительных остатков необходимо удалить санитарный слой почвы из теплицы.

Машины и механизмы для удаления и погрузки санитарного слоя почвы в настоящее время серийно не производятся. Применяемые для работы с тепличной почвой технические средства, в частности, трактора с бульдозерной навеской, навесные ковшовые погрузчики работают как машины периодического действия - требуют многократного заезда в теплицу и удаляют почву небольшими частями. Вследствие этого производительность таких машин не высокая при значительных затратах топлива. Кроме того, не всегда обеспечивается полное удаление санитарного слоя из-за необходимости маневрирования при работе.

Таким образом, обоснование параметров и разработка специализированной машины для удаления санитарного слоя тепличной почвы, имеющей высокую производительность и рациональную энергоёмкость, является актуальной научной задачей.

**Степень разработанности темы.** Вопросами процесса резания почвы занимались отечественные ученые: 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 др.

Анализ существующих исследований показывает, что для обоснования параметров специализированных машин, предназначенных для удаления почвы из теплиц 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:**

- провести анализ технических средств, применяемых для удаления санитарного слоя почвы из теплиц и разработать их классификацию;
- разработать технологический процесс одновременного удаления и погрузки санитарного слоя почвы в условиях закрытого грунта и новую конструкционно-технологическую схему навесной машины;
- теоретически исследовать процесс взаимодействия рабочих органов предлагаемой навесной машины с почвой и получить аналитические выражения для определения усилий взаимодействия, приводной мощности, производительности и энергоёмкости;
- провести экспериментальные исследования и получить зависимости и уравнения регрессии, описывающие влияние параметров навесной машины на энергоёмкость, мощность, производительность и качество удаляемого санитарного слоя почвы;
- 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** – зависимости и 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;



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

- 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;

- 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. Экспериментально-теоретическом обосновании конструктивно-технических параметров рабочих органов 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 математической статистики, применением многофакторного планирования и существующих, а также разработанных на их основе методик.

Результаты экспериментов обрабатывались 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 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 рациональной 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 проведения эксперимента с использованием поверенных измерительных приборов.

Основные положения диссертационной работы были 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; Всероссийских конкурсах на лучшую научно-инновационную работу среди студентов, аспирантов и молодых ученых «Грант ректора СГАУ» (Саратов, 2021 - 2022гг.); 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.); конференции «Иностранный язык как средство научной коммуникации» (Саратов, 2022 г.); XXXV Международная научно-техническая конференция имени В.В. Михайлова «Проблемы экономичности и эксплуатации автотракторной техники» (Саратов, 2022 г.).

По результатам исследований опубликовано 9 печатных работ, в том числе 7 в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных ВАК Минобрнауки РФ, 1 патент РФ.

Диссертационная работа состоит из введения, 5 глав, заключения, списка литературы из 122 наименований, 5 приложений. Текст диссертации изложен на 156 страницах, содержит 6 таблиц и 57 рисунков.

# 1 СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА. ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЙ

## 1.1 Анализ технологий и производственных процессов в растениеводстве защищенного грунта

Выращивание растений в закрытых культивационных сооружениях, позволяют создавать идеальные условия для их роста и развития в независимости от времени года и погодных условий, получать продукцию требуемого качества и объёма в круглогодичном режиме (урожайность культуры в закрытом грунте в 2-3 раза превышает урожайность этой же культуры в открытом грунте).

Насчитывается большое количество видов сооружений закрытого грунта для промышленного выращивания растений, но условно их можно разделить на две большие группы: парники (весенние теплицы) и теплицы для круглогодичного выращивания растений (зимние теплицы).

Парники используют сезонно, с наступлением теплой погоды – для выращивания рассады с последующей высадкой её в открытый грунт или для основного выращивания растений, если хотят добиться получения урожая раньше срока созревания культуры для данной климатической зоны в открытом грунте. Теплицы представляют собой большие остекленные помещения, оснащенные обогревом и системой поддержания микроклимата (свет, вентиляция, система снабжения углекислым газом и т.п.).

По конструкции каркаса теплицы различают два основных вида: ангарные (отдельно стоящие имеющие один широкий пролет) и блочные, состоящие из несколько рядом стоящих остекленных помещений, что позволяет формировать полностью застекленное пространство на большой территории.

Теплицы лучше других сооружений защищенного грунта отвечают требованиям промышленного производства овощей. Поэтому в современном овощеводстве нашей страны они стали основным видом культивационных сооружений (Рисунок 1.1).



Рисунок 1.1 – Динамика площадей теплиц в сельскохозяйственных организациях России без учета КФХ (данные Росстата)

В последние годы наряду с ростом площадей зимних теплиц наблюдается и рост валового сбора овощей всех видов. «По состоянию на 1 декабря 2021 года в зимних теплицах сельскохозяйственных организаций всего собрано 1274,3 тысячи тонн овощей, что на 4% выше показателя аналогичного периода 2020 года (1 223 тысячи тонн) в том числе огурцов 722,7 тысячи тонн, томатов 524,3 тысячи тонн» [3].

По способу корневого питания растений все теплицы можно разделить на грунтовые (1-3 поколение теплиц) и гидропонные (4-5 поколение). В последних корни растений растут в искусственных субстратах, периодически смачиваемых раствором питательных веществ. Для этого требуется сложное оборудование, что удорожает строительство. Теплицы 4 - 5 поколения, в которых выращивают цветы, рассаду, ягодные и овощные культуры, применяют сложные технологии и импортное дорогостоящее оборудование, поэтому пока не находят большого распространения.

При грунтовой технологии выращивания корнеобитаемой средой служат тепличные почвы или почвенные смеси (Рисунок 1.2), состоящие из естественных

материалов природного происхождения (дерновая земля, перепревший навоз, торф, песок, опилки и т.п.).



Рисунок 1.2 – Выращивание томата в теплице по грунтовой технологии

Грунтовая технология на сегодняшний момент является наиболее распространенной, не смотря на трудоёмкие работы, связанные с приготовлением и использованием почвы она позволяет получать продукцию с более высокими вкусовыми качествами.

Все основные работы по приготовлению, погрузке и перевозке тепличных почв механизированы, но в большинстве случаев используются не специализированные, а приспособленные технические средства общего назначения. Конструкция современных теплиц рассчитана на въезд и работу в них тракторов с относительно небольшими габаритами, таких как колесный «Универсал-445-У», гусеничный Т-20, самоходных шасси (Т-16МТ), а иногда и отдельных марок автомобилей. Транспортные и погрузочные работы внутри тепличных комбинатов выполняют также электропогрузчики.

Для приготовления тепличных почв используют комплекс машин: укладка на площадку и разравнивание – трактор типа МТЗ или ДТ с бульдозерной навеской; смешивание и погрузка – мобильными погрузчиками со шнековым питателем Д-452, ПНД-250. Если используются стационарные смесители типа СМТ, то материалы для почвенной смеси загружаются ковшовыми погрузчиками ПКУ, ПФ или аналогичными [9].

Для разравнивания, завезённой в помещение тепличной почвы, применяют бульдозерную навеску БН-1,4У. Минеральные удобрения вносят разбрасывателем РМУ-8,5. Для перекопки и фрезерования почвы в теплицах применяется машина МПТ-1,2, только для фрезерования – навесные фрезы ФН-1,6 и ФП-1,2 .

Обработку почвы блочных теплиц осуществляют: для предпосевной предпосадочной обработки почвы фреза тепличная ФТ-1,5; для глубокого вскапывания и фрезерования - машина универсальная МПТ-1,5 почвы (модернизированный вариант машины МПТ-1,2 шириной захвата 1,5); для вскапывания почвы перед пропариванием и заделки удобрений - копатель роторный КР-1,5.

«Для основной обработки почвы в ангарных и блочных грунтовых теплицах с высотой конструкции над уровнем почвы не менее 2 м предназначен роторный копатель» [9].

«Для основной обработки почвы в блочных теплицах перед посадкой или посевом, а также для обработки почвы в ангарных и пленочных теплицах с высотой боковой стенки не менее 2 м предназначены тепличные фрезы.

Фреза тепличная – навесная машина, агрегируемая с тракторами классов 0,6...0,9, привод осуществляется от вала отбора мощности трактора» [9].

Междурядные обработки выполняют электрофрезой ФС-0,7А и ручной электромотыгой ЭМ-12А.

Для внесения жидких минеральных подкормок используют автоматизированные системы полива. Для опрыскивания растений, дезинфекции помещений и прозрачной кровли применяют опрыскиватели ОЗГ-120А, ОКН-Б, ОН-10. На ручных работах по уходу за растениями и при сборах урожая

пользуются передвижными платформами-стремянками ПСП-1,4, тележками ТУТ-100, универсальным подъёмником ПУТ-0,7.

Выпущены установка УВР-1200 для производства 1200 шт. рассады за одну ротацию, установка УУГ-7,5 для производства и распределения углекислого газа в теплицах, станки ИГТ-10 (изготовитель торфоперегнойных горшочков), СОЛ-2,5 (предпосадочная обрезка луковиц) и др.

В современных теплицах полностью механизированы и могут работать в автоматическом режиме системы поддержания влажности и температуры почвы и воздуха, а в гидропонных теплицах – и пищевого режима; автоматически работают по заданным программам устройства для внесения углекислого газа, включения и выключения осветителей при электродосвечивании рассады.

В процессе эксплуатации теплиц ведут систематический контроль за водно-физическим состоянием почвы и её агрохимическими свойствами. В зависимости от результатов анализов проводят корректировку почв путем внесения органических и минеральных удобрений, промывкой слоя, обеззараживание, а при длительном использовании – частично или полностью заменяют почвы. При высоком содержании солей почву в теплицах промывают.

В современных крупных тепличных хозяйствах обеззараживают слой почвы, прогревая его паром (Рисунок 1.3).

Влажность грунта доводят до 45% и пашут на всю глубину или перекапывают ротационными машинами. Пропаривают поочередно площадки 100-150 м<sup>2</sup>. На такой площадке раскладывают парораспределительные приспособления (матерчатый рукав или перфорированная стальная труба), соединяют их гибким шлангом с паропроводящей сетью теплицы и закрывают полотнищем термостойкой пленки. Края полотнища прижимают к почве длинными мешочками с песком. После этого из паропроводящей сети пускают под пленку пар низкого давления (10 мм водяного столба). Пар подают до тех пор, пока слой грунта толщиной 35 см не прогреется до 80°С [11].





Рисунок 1.3 – Обеззараживание почвы в теплице при помощи пара

При длительном использовании в тепличной почве сокращается содержание питательных веществ, происходит интенсивная минерализация (засоление), связанное с применением воды, содержащей большое количество солей, а также избыточным внесением минеральных удобрений. Тепличные почвы подвержены заболачиванию в результате неравномерного распределения воды по осям теплицы при не качественном дренаже. Заболачивание почвы приводит к изменению её химического состава и ухудшению условий для роста растений [13, 14, 18].

В связи с этим возникает необходимость периодической замены верхнего санитарного слоя почвы или полной замены всего пласта. Смена тепличной почвы, если она необходима по тем или иным агротехническим соображениям, проводилась бульдозерами (Б-10, Б-10М, ТГ-170, Т-10, ДТ-75) и погрузчиками (ПКУ-0,8, ПЭ-0,8, ПШ-0,4 и другими) или экскаваторами (Э-153А, Э-159Б) с вывозом их на самоходном шасси.

По завершении технологического процесса по выращиванию растений почвы (санитарный слой) удаляют из теплицы на специализированные площадки

для оздоровления. На площадке отработанную почву укладывают слоем 30-35 см, вносят навоз (200-300 т/га), минеральные удобрения (8-10 ц/га NPK в соотношении 1:2:1) и возделывают злакобобовые травы 2-3 года.

Анализ производственных процессов в растениеводстве защищенного грунта показывает, что при использовании технологии выращивания на почве одной из самых трудоёмких операций является удаление слоя почвы из теплицы после нескольких циклов выращивания. Для этой операции используют технические средства общего назначения, не приспособленные к условиям тепличного производства. Главная трудность применения данных технических средств состоит в том, что их рабочие органы не адаптированы к физико-механическим свойствам тепличной почвы, что значительно снижает производительность и повышает общие затраты. Тепличная почва имеет свойства, существенно отличающие её от исходных материалов, входящих в состав, кроме этого, в процессе эксплуатации почвы её свойства также изменяются.

## **1.2 Почвы и почвенные смеси, используемые в растениеводстве защищенного грунта**

Вырастить качественную продукцию в теплицах возможно только на плодородной почве, где в условиях ограниченного корневого питания за короткое время, необходимо получить высокий урожай.

Из всего многообразия насыпных тепличных почв, используемых в растениеводстве закрытого грунта, можно выделить три основные группы:

- органические: состоят из 60-80% органических веществ (торф, опилки, солома, песок, перепревший навоз и др.);
- «органоминеральные: состоят из органических материалов (19-25%) с добавлением минеральных компонентов в разных соотношениях;
- минеральные: состоят из легких естественных почв с добавлением органических материалов» [19].

В зависимости «от вида выращиваемых растений, световой зоны и состава почвы происходит его полная или частичная замена, таким образом можно выделить вторую классификацию тепличных почв по длительности использования:

- ежегодно сменяемые;
- периодически сменяемые (2-4 года);
- длительного использования (5-10 лет), бессменные».

Тепличная почва «должна хорошо удерживать растения, обладать устойчивой структурой и иметь оптимальное соотношение фаз: твердая 20-30 %, жидкая 40-50% и газообразная 30-35% объема; содержать достаточное количество питательных веществ» [23]. В «почве не должно быть вредных для растений соединений алюминия, железа, остатков гербицидов, семян сорняков, опасных для тепличного овощеводства возбудителей болезней и вредителей (Рисунок 1.4). Почва должна обладать большой поглощательной и обменной способностью, иметь близкую к нейтральной (рН 6,2 - 6,7) реакцию и оптимальную для культуры концентрацию почвенного раствора, отличаться водопроницаемостью в сочетании с хорошей водоудерживающей способностью» [10].

Оптимальная средняя плотность тепличных почв 0,4 - 0,8 г/см<sup>3</sup>, общая порозность 50 - 60%, влагоёмкость около 50%. Во время роста растений объёмы твердой, жидкой и газообразной фаз тепличной почвы должны быть примерно одинаковыми (возможны отклонения в ту или иную сторону до 30% в зависимости от особенностей культуры, времени года, периодичности поливов). Содержание доступных питательных веществ в тепличных почвах должно постоянно поддерживаться на следующем уровне: азота (20 - 30 мг), фосфора (5 – 6 мг), калия (30 – 50 мг), магния (10 - 15 мг) на 100 г.. Указанные свойства почвы легче достигнуть, если в нем будет не меньше 30 - 35% (лучше около 55%) органических веществ, а доля гумуса составит 12-15% [10].

Качество тепличных почв определяется в значительной мере их физическими свойствами, оптимальные параметры для некоторых культур приведены в таблице 1.1 [10, 24, 25].



Рисунок 1.4 – Тепличная почва готовая к высадке растений  
(АО «Совхоз-Весна», Саратовская область)

Таблица 1.1 - Физические свойства почв, используемых в теплицах

Физические свойства тепличных почв	Единица измерения	Культура		
		огурец	томат	салат
Пористость	% от общего объёма почвы	80-90	65-75	60-70
Влагоёмкость	тоже	45-55	45-50	35-40
Воздухоёмкость	тоже	30-40	20-25	25-30
Объёмная масса	г/см <sup>3</sup>	0,25-0,5	0,5-0,8	0,7-1,0

Как видно из таблицы 1.1, тепличные почвы не должны иметь предельно высокий уровень влаго- и воздухоёмкости. Поэтому в почвенные смеси на основе низинного торфа добавляют минеральные компоненты (песок, суглинок), которые уменьшают излишнюю влагоёмкость и пористость. В почвенные смеси на основе

естественных почв добавляют рыхлящие материалы (древесную кору, солому, опилки) для увеличения воздухоёмкости смесей.

В тепличных почвах, составленных на базе торфа, с добавлением суглинка, песка и опилок даёт возможность создать тепличные почвы с заданными водно-физическими свойствами (Таблица 1.2).

Таблица 1.2 - Физические свойства тепличных почв (по данным НИИОХа)

Состав тепличной почвы	Содержание органического вещества, %	Влагоёмкость, %		Пористость, % от объёма почвы		Скорость фильтрации, см/с
		От абсолютного сухого вещества	От объёма	общая	аэрации	
Низинный торф	71,0	355	64	90	29	22
Торф + суглинок (3:1)	20,2	143	60	81	21	5
Торф + песок (3:1)	20,5	104	52	76	24	34
Торф+суглинок+опилки (1:1:1)	62,0	175	38	86	48	75

В общем случае за стандарт принимают тепличную почву со следующими показателями:

- мощность слоя 25 - 35 см;
- содержание органического вещества 20 - 30%;
- средняя плотность 0,4 - 0,6 г/см<sup>3</sup>;
- нормальный уровень содержания N, P, K, Mg и общего содержания водно-растворимых солей;
- pH водной вытяжки 6,2 - 6,5;
- хорошо работающий дренаж и отсутствие глеевого слоя [26, 27, 28].

Тепличная почва в процессе многократного использования испытывает интенсивное воздействие факторов микроклимата, агротехники. «Высокие нормы

полива, внесение минеральных и органических удобрений, частые обработки пестицидами вызывают ряд негативных процессов – засоление, оглинение, интенсивная минерализация, переуплотнение и др., в связи, с чем его физико-химические свойства ухудшаются, снижается урожайность. Все это ухудшает свойства субстратов, снижая длительность их использования, приводит к угнетению роста и развития растений» [23].

В связи с этим возникает необходимость периодической замены санитарного слоя почвы в теплице. Для выполнения этой трудоёмкой операции используют технические средства из других отраслей сельского хозяйства непригодных к условиям тепличного производства.

### **1.3 Существующая технологическая схема удаления санитарного слоя почвы из теплицы, основанная на использовании бульдозерной навески**

В настоящее время применяют различные технологические схемы удаления санитарного слоя почвы из теплицы, основанные на применении технических средств, описанных в предыдущем разделе. Но самой распространённой и простой в использовании является технологическая схема, основанная на применении бульдозера. Она состоит из нескольких периодически повторяющихся операций (Рисунок 1.5):

- перемещение почвы к центральному проходу теплицы бульдозером;
- загрузка собранного слоя почвы в транспортное средство фронтальным погрузчиком;
- вывоз почвы за пределы теплицы к месту складирования.

Данная технологическая схема имеет существенные недостатки. Для забора почвы и сгруживания её к центральному пролету теплицы необходимо многократное повторение рабочего цикла бульдозера. При движении к пролету рабочим ходом бульдозер отвалом перемещает часть почвы, то в обратном направлении он вынужден совершить холостой ход для повторного сгребания санитарного слоя почвы. Размеры отвала не позволяют бульдозеру за один проход

сдвинуть весь объём к центральному пролету теплицы. Дополнительно, в процессе работы бульдозера происходит осыпание – потеря части слоя по бокам отвала, что приводит к необходимости применения ручного труда по сбору остатков почвы.

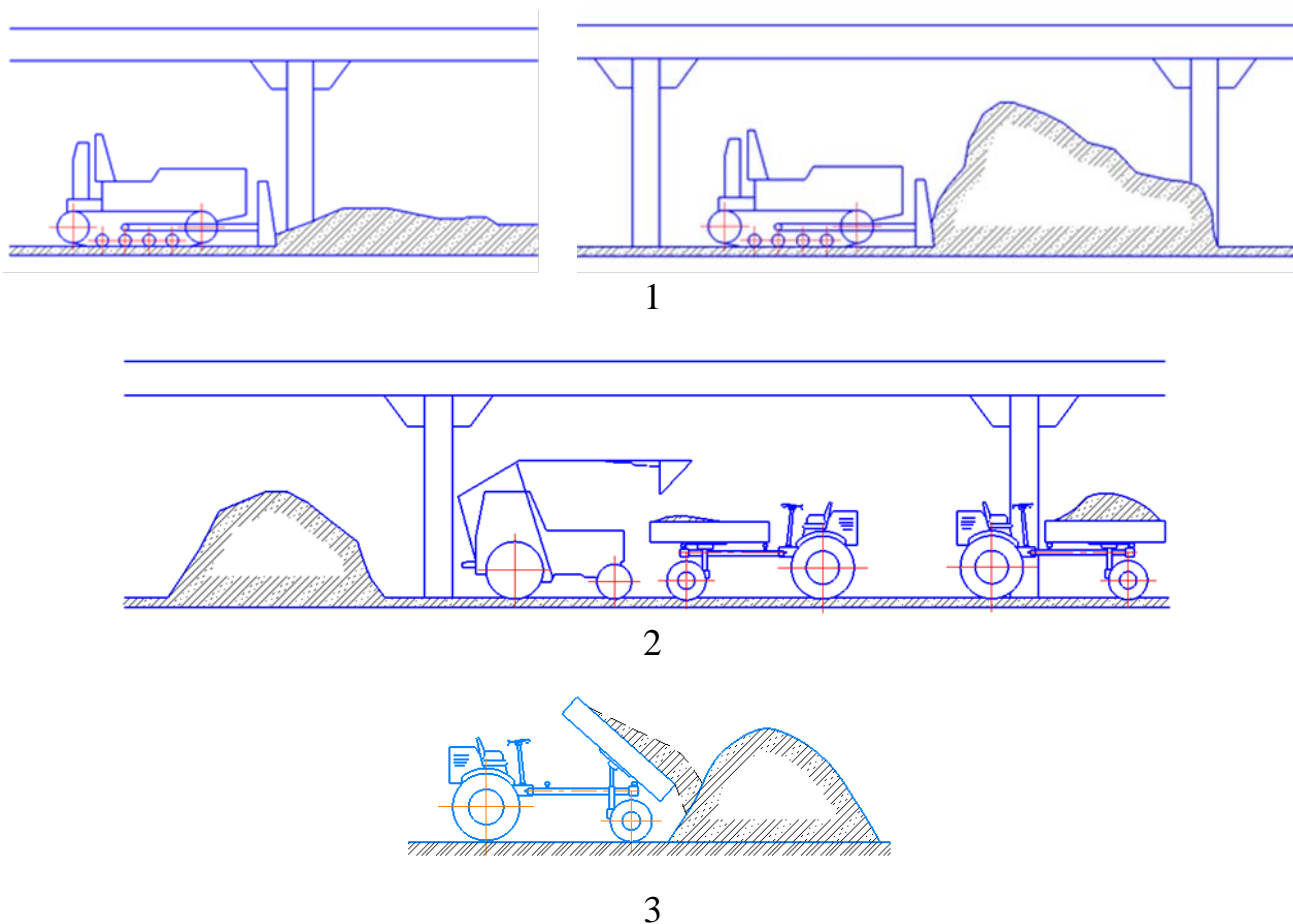


Рисунок 1.5 – Схема существующей технологии удаления санитарного слоя грунта из теплицы: 1 - перемещение почвы к центральному проходу теплицы бульдозером; 2 - загрузка собранного слоя почвы в транспортное средство фронтальным погрузчиком; 3 – вывоз почвы за пределы теплицы к месту складирования

Помимо бульдозеров и бульдозерных навесок для обработки, удаления и погрузки санитарного слоя почвы используют доработанные кустарным способом серийно выпускавшиеся машины для механизации животноводства и растениеводства. По своим параметрам, габаритным размерам и принципам работы такие машины, так же, как и бульдозеры, не подходят к условиям применения в теплицах и свойствам тепличной почвы. В результате существенно

возрастает энергоёмкость и трудоёмкость выполняемых процессов. Кроме того, требуется ручной труд для полной очистки теплицы. Поскольку использование бульдозера не позволяет загрузить почву непосредственно в транспортное средство, то требуется использовать различные погрузчики – что приводит к необходимости использования еще одного вида машин, что ведет к увеличению общих затрат.

Все это позволяет сделать вывод, что такая технологическая схема имеет низкую производительность, сопряженную со значительными затратами трудовых и материальных ресурсов, что в конечном итоге приводит к увеличению себестоимости выпускаемой продукции.

Необходимо создание рациональной технологии удаления и погрузки почвы в теплицах, а также технических средств для их осуществления.

#### **1.4 Анализ существующих технических средств, применяемых для удаления санитарного слоя почвы из теплицы**

Процесс удаления санитарного слоя почвы из теплицы является наиболее энергоёмким процессом среди всех остальных операций. Большое значение имеет выбор технических средств и машин, используемых для выполнения данной операции. От их производительности, экономичности и эффективности зависит сокращение общего объёма производственных затрат на выращивание готовой продукции.

Важно отметить, что в настоящее время специализированных машин для удаления почвы из теплиц не существует и, следовательно, они серийно не выпускаются. Для механизации данного процесса применяют переоборудованные и приспособленные технические средства или машины из других областей сельскохозяйственного производства – тракторные агрегаты, бульдозеры и бульдозерные навески, малогабаритные погрузчики. Одним из главных требований тепличного производства к ним – малогабаритные размеры, так как они должны работать в ограниченном пространстве тепличных помещений.



Наиболее распространенным техническим средством для удаления почвы являются бульдозеры и бульдозерные навески различных модификаций.

Они представляют собой навесное оборудование на базовый гусеничный или колесный трактор, включающее отвал с ножами, толкающее устройство в виде брусьев или рамы и систему управления отвалом.

В процессе работы при поступательном движении бульдозера вперед отвал опускается, при этом ножи врезаются в почву и срезают слой толщиной 15...25 см. Отделяемый от массива слой отвалом перемещается к месту укладки.

Отвалы имеют различные формы, что обусловлено работой с материалами, отличающимися по своим физико-механическим свойствам. В тепличном производстве, как правило, наиболее распространены прямые поворотные и неповоротные отвалы (Рисунок 1.6).

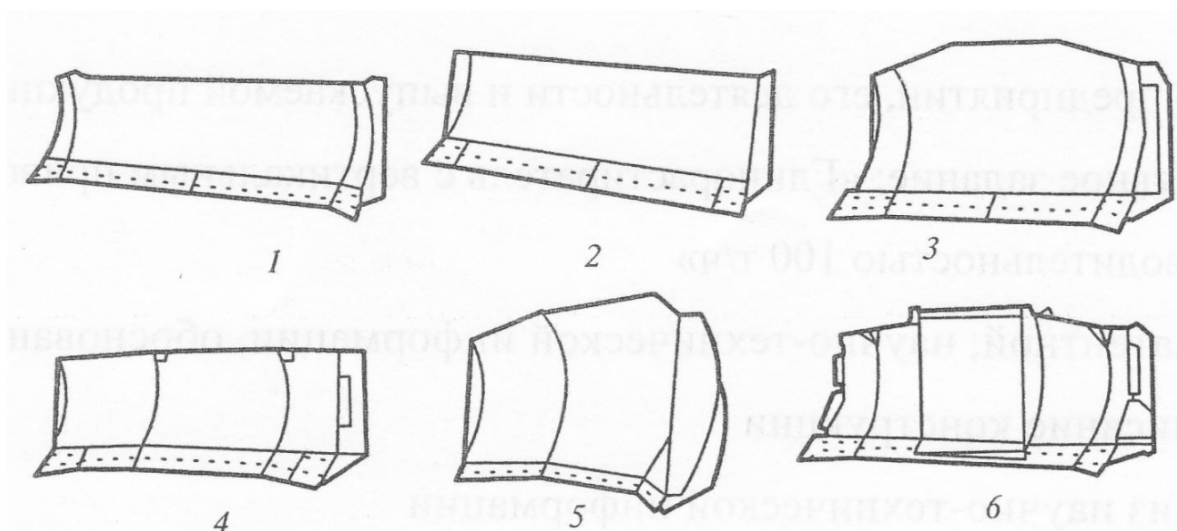


Рисунок 1.6 – Основные формы бульдозерных отвалов:

- 1–прямой поворотный отвал; 2–неповоротный; 3–полусферический;  
4–сферический; 5–сферический для сыпучих материалов;  
6 – с толкающей плитой

Бульдозерная навеска БН-1 предназначена для удаления навоза из помещений животноводческих ферм, но ее габариты позволяют её использовать и в теплице для удаления почвы (Рисунок 1.7). Навеска БН-1 включает основные узлы: отвал, упор, гидроцилиндр, кронштейн гидроцилиндра и шланги высокого давления. При выполнении технологического процесса тракторист с помощью

гидросистемы опускает бульдозерную навеску. Передвигаясь, агрегат разравнивает или перемещает материал. Объем перемещаемой почвы можно регулировать подъемом отвала. Агрегатируется с тракторами «Универсал-445-У» МТЗ-80, МТЗ-82 или мини-погрузчиками. Основные технические характеристики: ширина захвата – 1,4 м; производительность за час чистой работы – 0,185 Га/ч; угол резания – 55-60 градусов; заглубление отвала – до 100 мм. [33].



Рисунок 1.7 – Общий вид бульдозерной навески БН-1

Агрегат с мобильной навеской АМН-Ф-20 предназначен для очистки открытых проходов животноводческих ферм от навоза, но устройство позволяет применять его и для удаления почвы из теплиц (Рисунок 1.8).

При помощи кронштейнов и навесок лопата навешивается фронтально на трактор класса 1,4 (МТЗ-80/82). Агрегат оснащен гидросистемой, включающий два гидроцилиндра для открытия и закрытия лопастей, гидроцилиндр для подъема и опускания лопаты, а также гидрораспределитель.

Работает машина следующим образом. «Трактор с агрегатом в транспортном положении внедряется в слой навоза. С помощью гидросистемы тракторист опускает лопату и выставляет ее лопасти по ширине прохода. При перемещении агрегата навоз лопатой перемещается в поперечный канал или в навозохранилище. Обслуживание агрегата осуществляет один тракторист.

Основные технические характеристики: производительность за час основного времени – 20 т/ч; ширина захвата при уборке навоза – 1,8-3,0 м; рабочая скорость – 1,82-5,48 км/ч» [33].

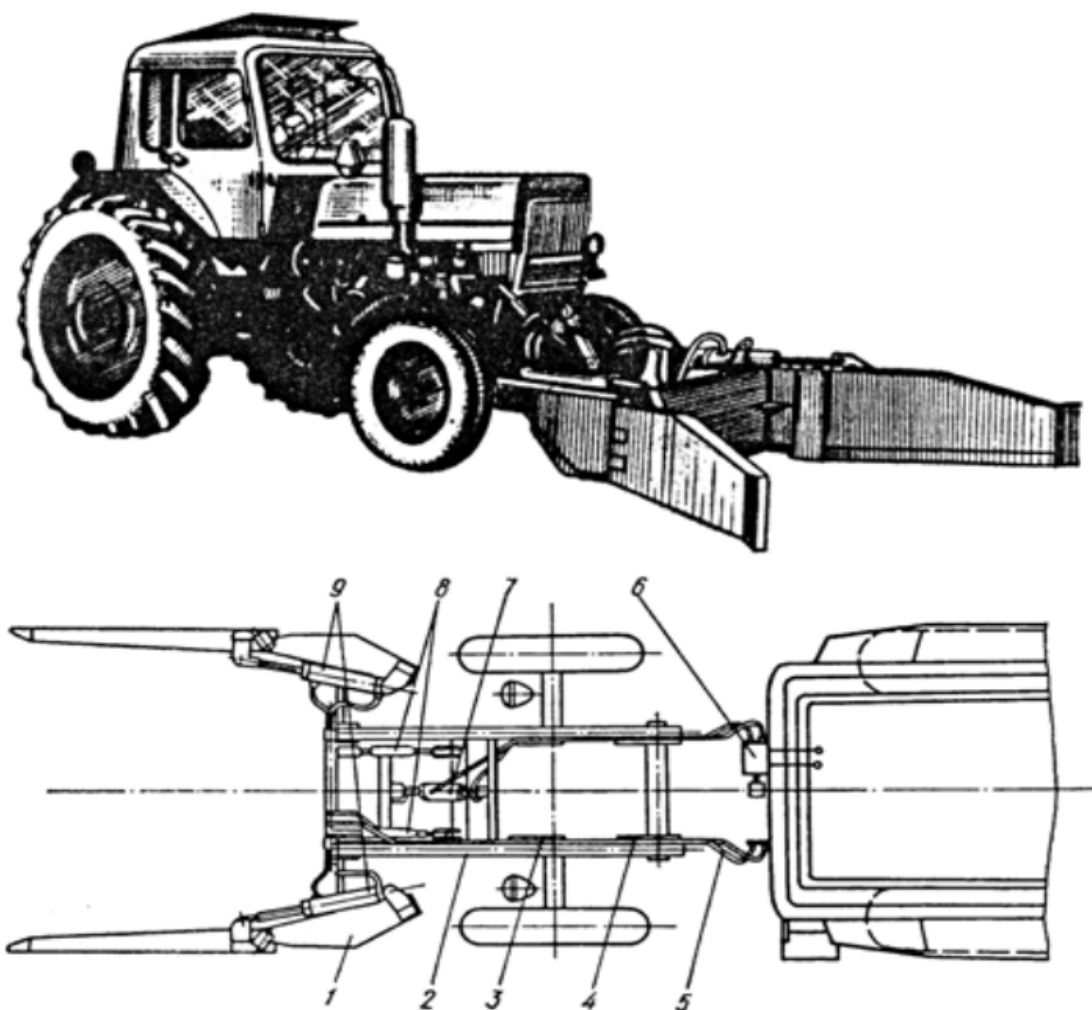


Рисунок 1.8 – Общий вид и схема мобильного агрегата АМН-Ф-20:

1 – лопата; 2 – рама; 3 – кронштейн; 4 – навеска; 5 – маслопроводы гидросистемы;  
6 – гидрораспределитель; 7 – гидроцилиндр для опускания и поднимания лопаты;  
8 – регулировочные тяги; 9 – гидроцилиндры лопаты

Основными недостатками машин, оснащенных рабочими органами бульдозерного типа, являются:

– необходимость применения дополнительных погрузчиков для загрузки удалённой почвы в транспортное средство, так как бульдозером возможно сдвинуть почву только к центральному пролёту теплицы;

– при работе бульдозера происходит осыпание части почвы по бокам, так как объём призмы вовлечения не позволяет сгрести весь слой за один проход – для удаления данных потерь почвы из теплицы используется ручной труд;

– небольшая производительность машин данного типа требует многократной операции по перемещению почвы, что ведет к увеличению времени и затрат топлива.

Следующим типом технических средств, применяемых для удаления почвы, являются фронтальные погрузчики периодического действия различных марок (Рисунок 1.9).

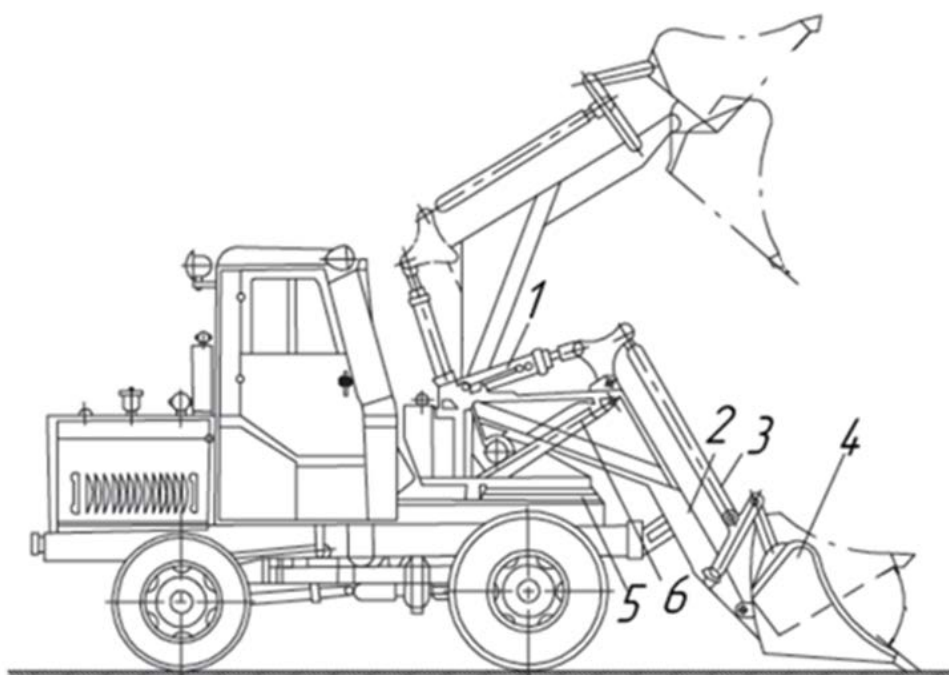


Рисунок 1.9 – Схема устройства одноковшового погрузчика:

- 1 - гидроцилиндр управления ковшом; 2 - стрела;
- 3 - кривошипно-шатунный механизм управления ковшом; 4 - ковш;
- 5 - поворотная рама; 6 - гидроцилиндры подъема стрелы

В общем виде рабочий цикл погрузчика включает в себя черпание, подъём, транспортирование и разгрузку материала [36].

Наиболее применяемым в тепличном производстве является ковшовый погрузчик ПКУ-0,8, предназначенный для работ по погрузке и транспортированию на небольшие расстояния различных сыпучих грузов

(Рисунок 1.10) [36]. Агрегатируется с тракторами МТЗ-80, МТЗ-82. Основными техническими характеристиками ПКУ-0,8 являются: объем ковша – 0,8 м<sup>3</sup>; максимальная грузоподъемность ковша – 1250 кг; ширина режущей кромки ковша – 2200 мм; высота погрузки – 3 м.



Рисунок 1.10 – Общий вид ковшового погрузчик ПКУ-0,8

Кроме отечественных моделей существует целый ряд моделей фронтальных погрузчиков зарубежного производства, агрегируемых на базе мини-тракторов.

Фронтальный погрузчик LA 1251 производства фирмы «Kubota Corporation» (Япония) (Рисунок 1.11), навешиваемый на трактор марки Kubota M8200 или аналоги, оснащен ковшом цельной конструкции, предназначенным для погрузки сыпучих материалов. Высота подъема ковша 2,46 м, угол загрузки 59 градусов, угол разгрузки 39 градусов. Максимальная грузоподъемность 1249 кг. Привод ковша осуществляется от гидросистемы трактора [39].

Фронтальный погрузчик FEL-300KS производства фирмы Dongfeng (Китай) предназначен для сельскохозяйственных работ, в том числе и в животноводстве (Рисунок 1.12). Конструктивной особенностью данной модели является наличие ковша с челюстным захватом. Преимущество такой конструкции заключается в том, что для погрузки и разгрузки сыпучих материалов не совершается лишних перемещений ковша, что экономит общее время работ. Объем ковша составляет

0,22 м<sup>3</sup>, грузоподъемность – до 400 кг, высота подъема ковша – 2,2 м. Привод осуществляется от гидросистемы трактора. Чтобы справиться с перевесом и избежать крена во время работы предусмотрена автобалансировка ковша [40].



Рисунок 1.11 – Общий вид фронтального погрузчика LA 1251



Рисунок 1.12 – Общий вид фронтального погрузчика FEL-300KS

Универсальный самопогрузчик СУ-Ф-0,4 используют для механизации уборки навоза с территории животноводческих ферм, но его также возможно использовать для удаления почвы из теплиц (Рисунок 1.13) [33]. В его состав входят тракторное самоходное шасси с самосвальным кузовом, оборудованное навеской и фронтальным ковшом.

Основные технические характеристика самопогрузчика:

- грузоподъёмность ковша – до 400 кг.;
- грузоподъёмность самосвального кузова – 1000 кг;
- ширина захвата ковша – 1700 мм;
- производительность на уборке навоза с транспортировкой его на 200 м – до 12 т/ч.



Рисунок 1.13 – Общий вид универсального самопогрузчика СУ-Ф-0,4 на базе самоходного шасси Т-16

Основными недостатками машин, оснащенных рабочими органами периодического действия, являются:

- низкая производительность и высокая энергоёмкость за счёт необходимости многократного заезда в теплицу, что ведет к увеличению затрат топлива;

- многократность заездов приводит к повышенному уплотнению почвы, если требуется снятие части слоя, что в последствии сказывается на выращивании растений – уменьшается воздухоёмкость и влагоёмкость грунта.

Кроме погрузчиков периодического действия, для удаления почвы возможно использование погрузчиков непрерывного действия различных конструкций.

Многоковшовый погрузчик Д-452 выполнен на пневмоколёсном ходу и оснащён питателем, состоящим из двух винтовых конвейеров, расположенных с обеих сторон элеватора (Рисунок 1.14).

При напорном надвигании питателя на штабель груза «винты подгребают материал к ковшовому элеватору, который зачерпывает ковшами груз и перемещает его на подъёмно-поворотный ленточный конвейер для отсыпки груза в отвал или в подвижной состав. Производительность погрузчика до 130 м<sup>3</sup>/ч.» [37].

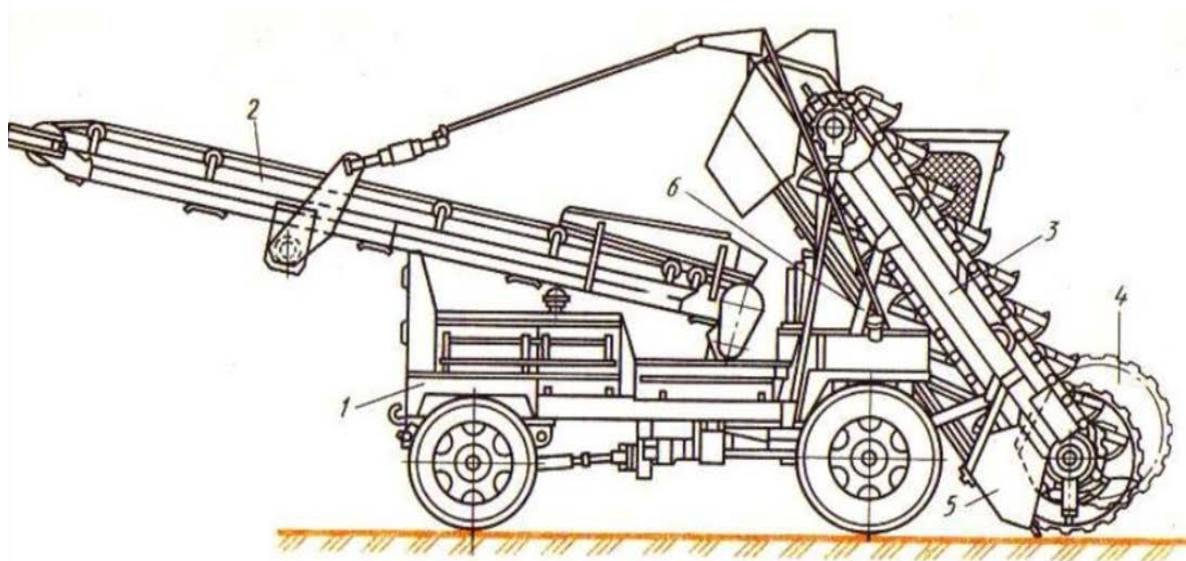


Рисунок 1.14 – Схема многоковшового погрузчика Д-452:

- 1 – пневмоколёсное шасси; 2 – ленточный конвейер; 3 – ковшовый конвейер;  
4 – винтовой (шнековый) питатель; 5 – отвал; 6 – гидроцилиндр

Погрузчик непрерывного действия ПНД -250 предназначен для рыхления и погрузки органических и минеральных удобрений и последующей погрузкой в транспортные средства (Рисунок 1.15) [41]. Основными элементами конструкции погрузчика являются: рама, фрезерный питатель, приёмный и выгрузной транспортёр, гидросистема и ходоуменьшитель.

При работе погрузчик, двигаясь поступательно, внедряет шнековую фрезу в массив материала. При вращении фрезы происходит отделение материала и его перемещение к отгрузочному транспортеру. Одновременно происходит некоторое перемешивание частиц. Отгрузочный транспортер подает материал в



транспортное средство. Агрегатируется с тракторами типа ДТ-75, обслуживает один тракторист. Производительность в час основного времени на погрузке навоза составляет 200 т/ч, высота погрузки – до 3,2 м, габаритные размеры в рабочем положении 8500 х 5200 х 4100 мм.



Рисунок 1.15 – Общий вид погрузчика непрерывного действия ПНД-250

Кроме рассмотренных машин, для условий тепличного производства могут приспособляться машины, используемые для разгрузки сыпучих грузов. К таким относятся погрузочно-разгрузочные машины МВС-3М и МВС-4М. [37].

Позрузочно-разгрузочная машина МГУ (рисунок 1.16) имеет то же назначение, что и машины МВС, но меньшей производительности. Шнековый ленточный рушитель расположен горизонтально на высоте 1 м над опорной поверхностью. В остальном машина близка к устройству машин МВС [37].

Для удаления почвы из теплицы, возможно, использовать агрегат АУН-10 с вибрационным рабочим органом, предназначенным для уборки слежавшегося, уплотненного навоза из животноводческих помещений (Рисунок 1.17) [33]. Производительность агрегата при толщине срезаемого слоя навоза 50 мм – 10 т/ч, при толщине 150 мм – 25 т/ч. Ширина захвата рабочего органа 330 мм, высота погрузки до 1830 мм, а максимальная высота убираемого слоя навоза – до 250 мм.

Основными недостатками машин, оснащённых рабочими органами непрерывного действия, являются:

– большая металлоёмкость и габариты, что затрудняет работу в ограниченном пространстве теплиц;

– сложное устройство, что увеличивает затраты на изготовление и ведет к высоким эксплуатационным расходам;

– параметры рабочих органов не адаптированы к физико-механическим свойствам почвы в теплицах, а обоснованы для работы в иных условиях и с иными грузами, все это снижает производительность и увеличивает энергоёмкость процессов.

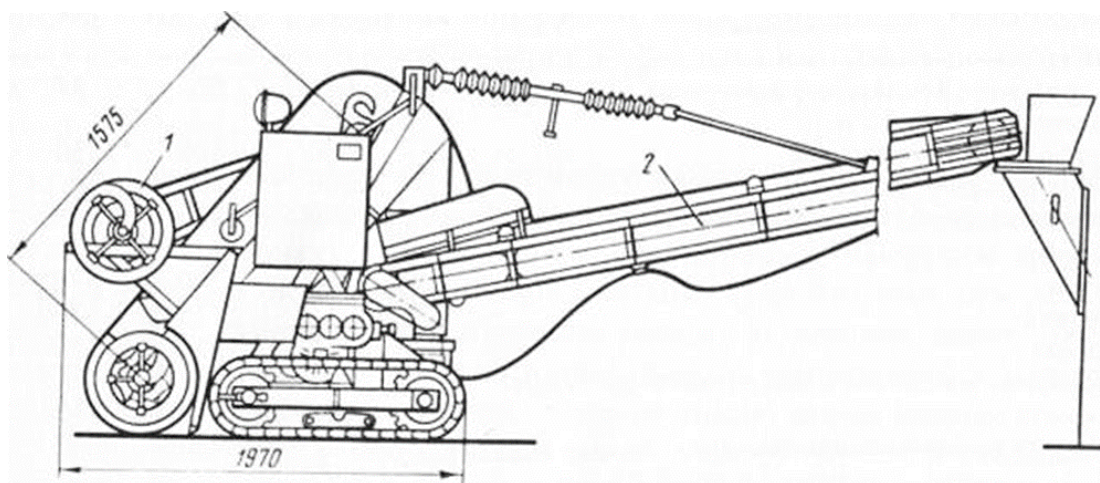


Рисунок 1.16 – Погрузочно-разгрузочная машина МГУ:

1 — шнековый рушитель; 2 — отвальный конвейер

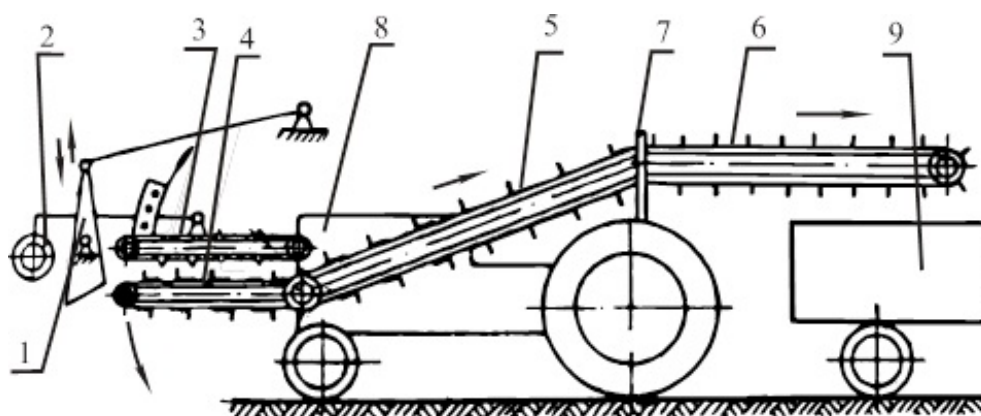


Рисунок 1.17 – Схема агрегата АУН-10 для уборки уплотненного навоза:

1 - вибронож; 2 - опорное колесо; 3 - приемный транспортер;  
4 - поворотная часть подающего транспортера; 5 - наклонная часть подающего транспортера; 6 - горизонтальная часть подающего транспортера; 7 - рама;  
8 - трактор Т-25Л; 9 - кузов транспортного средства

Удаление почвы из помещения теплицы возможно выполнять самоходными и прицепными скреперами отечественного и зарубежного производства.

Основным рабочим органом самоходного скрепера Д-392 является ковш с режущей кромкой, расположенный между осями, который срезает, загружает, транспортирует, выгружает и распределяет материал при движении вперед (Рисунок 1.18). Системой управления ковш опускается для заглубления в грунт, заполненный ковш поднимается в транспортное положение, и машина перемещается к месту укладки, где ковш приводится в положение разгрузки. В зависимости от типа машины вместимость ковша скрепера составляет от 2,5 до 40 м<sup>3</sup>.

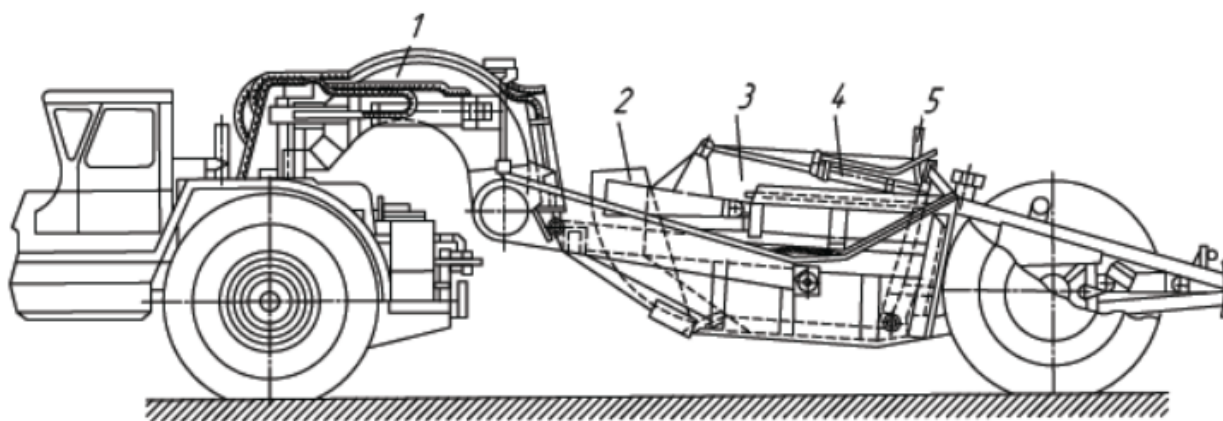


Рисунок 1.18 – Схема самоходного скрепера Д-392:

1 — хобот; 2 — заслонка; 3 — ковш; 4 — гидросистема; 5 — задняя стенка

Прицепной скрепер J280 фирмы MONTEFIORI (Италия) предназначен для работы на больших площадях, а также для работы с влажными и песчаными почвами (Рисунок 1.19). Основные технические характеристики: общая ширина – 3 м, длина – 6,95 м, высота загрузки – до 1,4 м., объем ковша – 10 м<sup>3</sup>. [42].

Основными недостатками машин, оснащенных рабочими органами скреперного типа, являются:

– не возможность использования в теплицах из-за больших габаритов и большей площади, требуемой для маневрирования;

– высокая металлоёмкость и расход топлива, так как эти машины предназначены для работы с грузами, имеющими много большую плотность, чем тепличная почва;

– ограниченный объём ковша не позволяет за один проход срезать весь слой почвы в пролете блока теплицы, что влечёт за собой многократность заездов и снижение производительности.



Рисунок 1.19 – Общий вид прицепного скрепера J280

Следующим видом технических средств, которые возможно использовать для удаления почвы в теплицах, являются одноковшовые погрузчики напорного действия.

Главное отличие данного вида погрузчиков от других заключается в том, что внедрение ковша в штабель груза производится напорным движением ходового колесного или гусеничного механизма, иными словами, за счёт привода ходового устройства.

Одноковшовые электропогрузчики напорного действия предназначены для грузов с насыпным весом не более  $2,5 \text{ т/м}^3$ . Например, у погрузчика УПМ-6 максимальная грузоподъёмность - 750 кг, максимальная высота подъёма ковша с грузом – 1,6 м (Рисунок 1.20) [36].

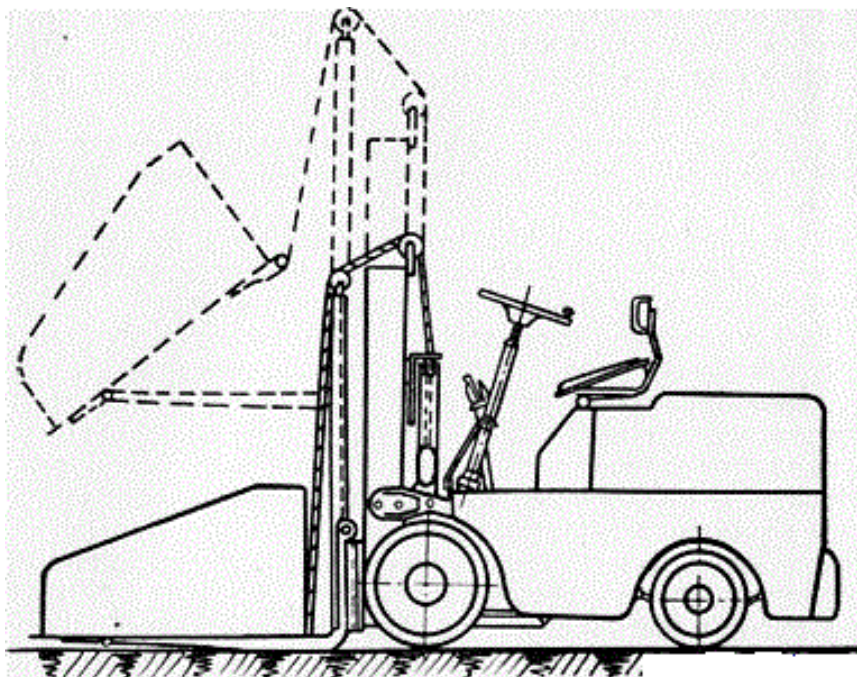


Рисунок 1.20 – Общий вид автопогрузчика модели «УПМ-6»

К общим недостаткам погрузчиков данного типа можно отнести:

- частичное заполнение ковша, что происходит из-за того, что задняя стенка ковша при внедрении упирается в борт почвы, что препятствует более полному заполнению ковша с одного-двух заходов;
- сложность конструкции – большое число звеньев и механизмов, подверженных износу;
- большие габариты и общая громоздкость всей машины препятствует нормальной работе в ограниченном пространстве теплицы;
- днище и кромки боковых стенок ковша образуют большой угол, который препятствует глубокому внедрению ковша в борт почвы.

Проведенный анализ технических средств для удаления и погрузки почвы позволил установить, что специализированных технических средств для работы в теплицах серийно не производится. Применяются технические средства из различных отраслей производства. Поскольку параметры рассмотренных машин обоснованы для других условий применения, то при их использовании в тепличном производстве имеет место низкая производительность, высокие затраты ресурсов, частичное применение ручного труда.

## **1.5. Классификация технических средств, применяемых для удаления и погрузки почвы**

Накопленная информация по различным техническим средствам, применяемым для удаления и погрузки санитарного слоя тепличной почвы, позволяет их систематизировать в соответствии с технологическими, эксплуатационными и конструктивным особенностями и привести в виде классификационной формы (Рисунок 1.21).

Различают следующие способы удаления почвы: механический, гидромеханический, комбинированный. По виду выполняемых работ машины разделяют: универсальные и специальные.

По способу воздействия на почвы можно выделить машины, которые осуществляют внедрение рабочего органа в слой за счёт непосредственного подпора почвы при реализации тягового усилия базовой машины (бульдозеры) и те, которые захватывают почву с помощью загрузочного устройства (погрузчики непрерывного действия).

На основании информации представленной в классификации можно сформулировать недостатки существующих машин для работы с санитарным слоем почвы и направления совершенствования и разработки новых рабочих органов. Все существующие машины являются одно операционными, т.е. за один проход выполняется одна операция, на выполнение следующей потребуется другое время. Удаление и погрузка требует нескольких последовательных проходов машины, что приводит к росту затрат труда и топлива. Но в то же время существующие погрузчики непрерывного действия не адаптированы для тепличного производства и имеют сложное устройство рабочих органов, и высокую металлоёмкость, и энергоёмкость, что для операции по удалению почвы не требуется, следовательно, можно обойтись рабочим органом более простой конструкции, что снизит затраты на изготовление и общую металлоёмкость машины.

<i>По назначению</i>			
универсальные		специальные	
<i>По виду привода</i>			
электрический	механический	гидравлический	комбинированный
<i>По способу удаления</i>			
механический	гидромеханический	комбинированный	
<i>По ходовому оборудованию</i>			
гусеничные		пневмоколесные	
<i>По периодичности воздействия</i>			
периодического действия		непрерывного действия	
<i>По размещению оборудования</i>			
фронтальное	боковое		заднее
<i>По способу загрузки</i>			
заполняемые за счет подпора почвы при реализации тягового усилия базового тягача		загружаемые с помощью загрузочного устройства	
<i>По виду загрузки</i>			
Самопогрузчики		В другое транспортное средство	
<i>По способу разгрузки</i>			
свободной	принудительной	комбинированной	
<i>По способу агрегатирования (передвижения)</i>			
прицепные	полуприцепные	самоходные	
<i>По способу воздействия на почву</i>			
резание		копание	
<i>По разработке почвы</i>			
позиционно		в процессе перемещения всей машины	
<i>По укладке разработанной почвы</i>			
укладывается в отвал рядом с открытой выемкой		погружается в транспортные средства для его перевозки	
<i>По типу рабочего органа</i>			
ковш	отвал	фрезерный	сегментный
<i>По виду рабочего оборудования</i>			
сменное		несменное	

Рисунок 1.21 – Классификация технических средств, применяемых для удаления и погрузки почвы в теплицах

Таким образом, дальнейшие исследования должны быть посвящены разработке машины непрерывного действия, оснащённой рабочим органом напорного типа и отгрузочным транспортёром, применение которого повысит производительность и сократит общие затраты.

### **1.6. Анализ существующих исследований рабочих органов технических средств, применяемых для удаления почвы в теплицах**

Поскольку специализированных машин для удаления почвы из теплиц не разрабатывалось и не исследовалось, то в данном разделе приводятся исследования рабочих органов машин из различных отраслей, так или иначе связанных с работой с почвой и различными грунтами.

Для работы с различными видами почв и грунтов широкое распространение получил высокоэффективный и универсальный механический способ разработки почв. При механической разработке почв в основном осуществляется два процесса: «резание и копание. Резанием называется процесс, при котором режущая часть рабочего органа землеройной машины, имеющая обычно вид клина, под действием определенного усилия внедряется в почву и продвигается по траектории, зависящей от конструкции машины, отделяя слой, условно называемый стружкой. Отделение слоя почвы от массива происходит в результате сдвига или отрыва части почвы в зависимости от его физико-механических свойств, геометрической формы рабочего органа и режимов работы» [30].

«Копанием называется процесс, включающий резание почвы и перемещение её разрушенной части (призмы волочения) перед рабочим органом, перемещение поступающего слоя по рабочему органу и по почве, уже захваченному им, и трение рабочего органа о почву» [30]. Данный процесс характерен для работы бульдозеров.

Исследования установлено, что «усилие копания больше, чем усилие резания в 1,5–3 раза» [30].



Совершенствованием рабочего оборудования бульдозера занимались многие ученые. Значительный вклад в развитие теории резания внесли работы: В.П. Горячкина, Е.И. Берестова, Н.Г. Домбровского, И.Я. Айзенштока, А.Н. Зеленина, В.Д. Абергауза, Ю.А. Ветрова, Д.И. Федорова, И.А. Недорезова, А.А. Романовича, С.И. Вахрушева. [43, 44, 45, 46, 47, 48, 49, 50, 51, 52, 53].

Доктор технических наук Е.И. Берестов в своих исследованиях проводит анализ существующих «методик определения сил сопротивления копанию и приходит к выводу, что в расчетах используется несколько основных параметров почвы: коэффициент удельного сопротивления резанию, коэффициент трения почвы по металлу, коэффициент трения почвы по почве, удельная плотность. Эти параметры используются и при определении силы  $W_1$  сопротивления резанию почвы» [44]:

$$W_1 = k \cdot b \cdot h , \quad (1.1)$$

где  $k$  – коэффициент удельного сопротивления резанию, принимаемый в зависимости от категории почвы и типа рабочего органа;

$b$  – ширина резания;

$h$  – толщина вырезаемой стружки.

Для определения силы  $W_2$  сопротивления перемещению призмы волочения используется зависимость:

$$W_2 = V \cdot \delta_p \cdot g \cdot \mu_2 , \quad (1.2)$$

где  $V$  – объем призмы волочения;

$\delta_p$  – плотность разрыхленной почвы;

$g$  – ускорение свободного падения;

$\mu_2$  – коэффициент трения почвы о почву.

Сила сопротивления перемещению почвы вверх по отвалу определяется по формуле:

$$W_3 = V \cdot \delta \cdot \mu_1 \cdot \cos^2 \gamma , \quad (1.3)$$

где  $\mu_1$  – коэффициент трения почвы по металлу;

$\gamma$  – угол резания.

Общее сопротивление копанию в данном случае определяется как сумма:

$$W_K = W_1 + W_2 + W_3, \quad (1.4)$$

Представленная методика, однако, не позволяет учитывать целый ряд параметров не только почвы, но и отвала. Берестовым Е.И. и соавторами «разработана и реализована на ЭВМ в виде программного обеспечения методика определения параметров почвы, основанная на теории предельных состояний» [44].

На основе предлагаемой методики установлен характер влияния на силы сопротивления копанию отвалом бульдозера различных параметров почвы (Рисунок 1.22).

Во всем диапазоне углов существует рациональная область высоты вырезаемой стружки от 0,14 до 0,2 м, при которой силы сопротивления копанию отличаются незначительно. В этой области влияние угла трения почвы по металлу для почв с данными параметрами можно не учитывать [44].

Усилие для перемещения бульдозера будет зависеть от объема призмы волочения. Исследованиями доктора технических наук Воскресенского Г.Г. получены выражения для определения объема призмы волочения бульдозера (Рисунок 1.23.):

$$V = B \left( \frac{\pi \cdot R^2 \cdot \xi}{360^\circ} - \frac{L \cdot R \cdot \cos \frac{\xi}{2}}{2} \right) + \frac{B \cdot L^2}{2} \cdot \left( \frac{\sin^2 \gamma}{\operatorname{tg} \varphi} - \cos \gamma \cdot \sin \gamma \right), \quad (1.5)$$

где  $B$  – ширина отвала;

$L$  – длина линии соединяющей вершину отвала с режущей кромкой ножа;

$R$  – радиус криволинейной части отвала;

$\xi$  – угол сектора криволинейной части отвала;

$\varphi$  – угол естественного откола почвы;

$\gamma$  – угол установки отвала.

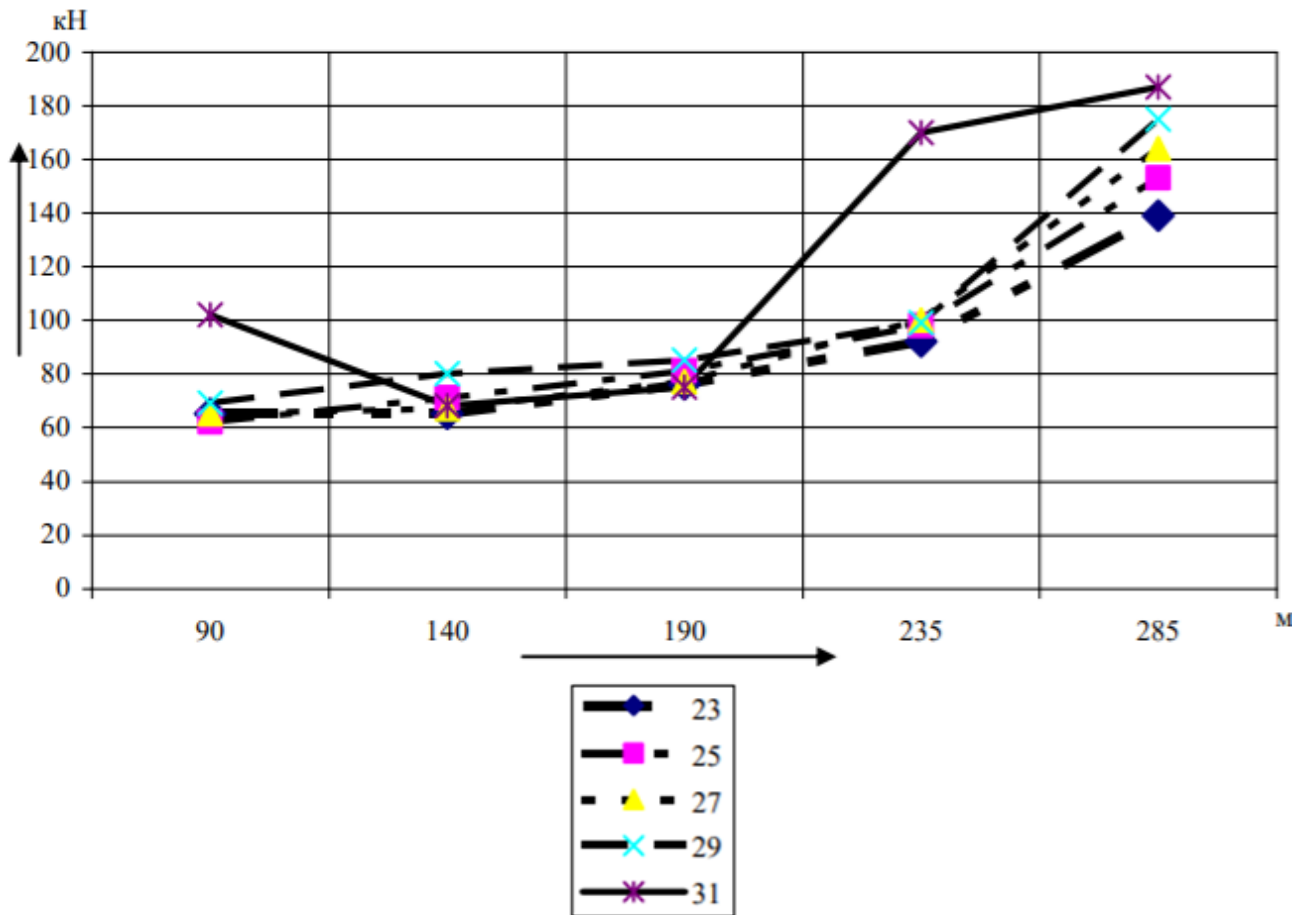


Рисунок 1.22 – Влияние высоты вырезаемой стружки на силы сопротивления копанию

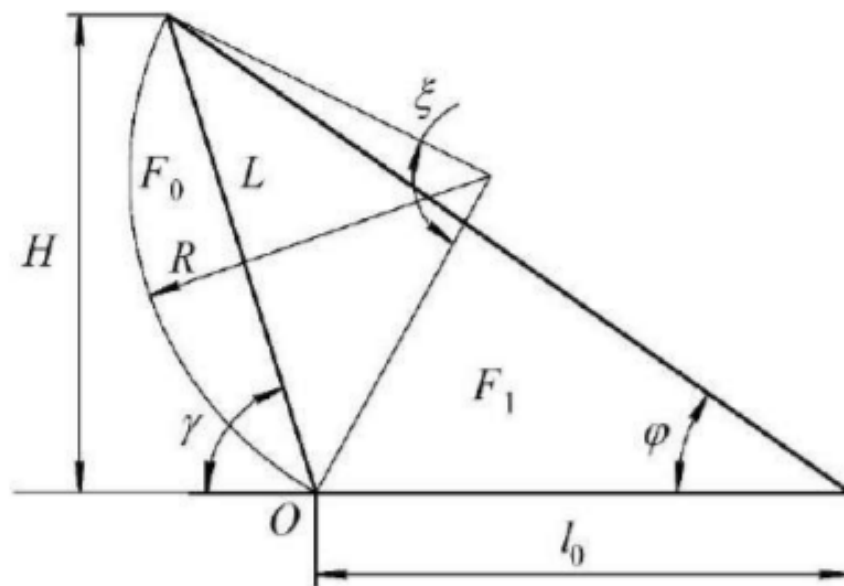


Рисунок 1.23 – Схема к определению объёма призмы волочения бульдозера:

$F_0 + F_1$  – площадь поперечного сечения призмы почвы

Зная объём призмы волочения, сила сопротивления перемещению призмы почвы  $W_{пр}$  определяется по выражению [54]:

$$W_{пр} = \rho \cdot g \cdot V \cdot \mu, \quad (1.6)$$

где  $\rho$  – плотность почвы;

$\mu$  – коэффициент трения призмы о почву,

$g$  – ускорение свободного падения.

Кандидатом технических наук Вахрушевым С.И. исследовано влияние формы отвала бульдозера на производительность при различной длине перемещения почвы. «Эксплуатационная производительность бульдозера  $\Pi_э$  при резании и перемещении почвы определяется:

$$\Pi_э = \frac{3600 \cdot V_{эп} \cdot K_y \cdot K_H \cdot K_B}{T_{ц}}, \quad (1.7)$$

где  $V_{эп}$  – объём призмы волочения впереди отвала, м<sup>3</sup>:

$$V_{эп} = \frac{B \cdot H^2 \cdot K_H}{2 \cdot tq\varphi \cdot K_p}, \quad (1.8)$$

$T_{ц}$  – время цикла, с:

$$T_{ц} = \frac{l_p}{U_p} + \frac{l_{п}}{U_{п}} + \frac{l_o}{U_o} + t_{п}, \quad (1.9)$$

$K_H$  – коэффициент, учитывающий потери почвы при её перемещении:

$$K_{п} = 1 - 0,005 \cdot l_{п}, \quad (1.10)$$

где  $B$  и  $H$  – длина и высота отвала, м;

$l_{п}$  – длина участка перемещения почвы, м;

$\varphi$  – угол естественного откоса почвы в движении ( $\varphi = 35-45^\circ$ );

$K_p$  – коэффициент разрыхления почвы ( $K_p = 1,1-1,3$ );

$K_y$  – коэффициент влияния уклона местности на производительность;

$K_H$  – коэффициент наполнения призмы волочения ( $K_H = 0,85-1,05$ );

$K_э$  – коэффициент использования бульдозера по времени ( $K_э = 0,8-0,9$ );

$l_p, l_n, l_o$  – длины участков резания, перемещения почвы и обратного хода бульдозера, м;

$U_p, U_n, U_o$  – скорости бульдозера при резании, перемещении почвы и обратном ходе бульдозера, м/с;

$t_n$  – время, затрачиваемое на переключение передач в течение цикла  
( $t_n = 15-20$  с).

В результате проведенных исследований установлено, что самую высокую производительность имеет отвал с поворотными щеками и полуднищами, за счет того, что у ковшового рабочего органа потери почвы пренебрежимо малы и не зависят от длины перемещения (Рисунок 1.24)» [55].

Исследованиями д.т.н. Ларюшина Н.П. установлено рациональное значение угла установки «лемеха, при котором не происходит сгуживания почвы и формирование призмы волочения:

$$\alpha < (90 - \varphi) \quad (11)$$

где  $\alpha$  – угол установки (наклона) лемеха, град;

$\varphi$  – угол трения почвы о металл, град.» [56]

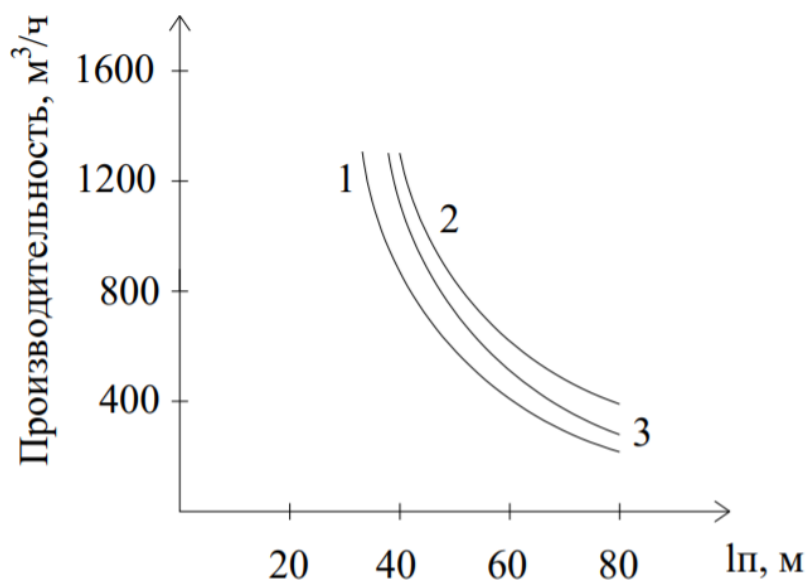


Рисунок 1.24 – Зависимость производительности от длины перемещения почвы:

1 – традиционный отвал, 2 – отвал с боковыми щеками и полуднищами,

3 – выдвижной отвал

«На качество подкапывания также установлено влияние длины рабочей поверхности лемеха. С увеличением длины рабочей поверхности лемеха скорость перемещения пласта по лемеху уменьшается. В результате этого при какой-то предельной длине рабочей поверхности лемеха происходит сгруживание почвы впереди лемеха.

Длина рабочей поверхности лемеха определяется из выражения

$$l \leq ctg(\alpha + \varphi) \cdot \left[ \frac{\sigma_B}{\rho_{об} \cdot g} - 2 \frac{v_M^2}{g} \cdot \sin \psi \cdot (\cos \psi \cdot tg(\alpha + \varphi) - \sin \psi) \right], \quad (1.12)$$

где  $\sigma_B$  – временное сопротивление почвы сжатию, МПа;

$\rho_{об}$  – объемная (насыпная) плотность почвы, кг/м<sup>3</sup>;

$v_M$  – скорость движения машины, м/с;

$g$  – ускорение свободного падения, м/с<sup>2</sup>;

$\varphi$  – угол трения почвы о металл, град.

$$\psi = arctg \frac{K - \cos \alpha}{\sin \alpha}, \quad (1.13)$$

где  $K$  – коэффициент усадки пласта, равный отношению толщины пласта на лемехе  $h_l$  к глубине подкапывания  $h$ .

При условии  $\psi < (\alpha + \varphi)$  возрастание скорости приводит к увеличению сгруживания, а при  $\psi > (\alpha + \varphi)$  с возрастанием скорости сгруживание уменьшается» [56].

Анализ существующих исследований машин, применяемых для работы с почвой позволяет сделать вывод, что существующих исследований рабочих органов данных машин для их применения в теплицах недостаточно. Имеющиеся исследования адаптируют рабочие органы 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.

### **1.7. Цели и задачи исследований**

**Цель работы:** повышение производительности и снижение энергоёмкости процесса удаления и погрузки санитарного слоя почвы из теплицы путем обоснование 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 закрытого грунта и новую конструкционно-технологическую схему прицепной 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 мощность, производительность и энергоёмкость удаляемого санитарного слоя почвы;
- провести производственные испытания и дать технико-экономическую оценку результатов внедрения.

### **1.8. Выводы по главе**

1. Существующие технологии удаления и погрузки санитарного слоя почвы в условиях закрытого грунта основаны на использовании неприспособленных для тепличного производства технических средств из других отраслей народного

хозяйства, что приводит к необходимости применения ручного труда, снижению производительности и увеличению общих затрат.

2. Необходима разработка новой технологии, исключаяющей многократное повторение операций по отделению слоя почвы и погрузки в транспортное средство, за счёт объединения этих операций в одну, что значительно повысит производительность и сократит затраты на ГСМ, исключит применение ручного труда.

3. Поскольку специализированных машин для одновременного удаления и погрузки санитарного слоя почвы в теплицах не существует, необходимо провести исследования по созданию навесной машины, совмещающей операции по отделению пласта тепличной почвы и одновременной погрузки его в транспортное средство.

4. Конструкционно-технологическая схема навесной машины должна включать в себя: рабочий орган, параметры которого необходимо теоретически обосновать для применения к условиям теплиц и физико-механическим свойствам тепличных почв; отгрузочный транспортер для погрузки в транспортное средство.



## **2 ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА УДАЛЕНИЯ САНИТАРНОГО СЛОЯ ПОЧВЫ НАВЕСНОЙ МАШИНОЙ ДЛЯ ТЕПЛИЦ**

Выращивание растений в условиях тепличного земледелия с применением грунтовой технологии требует использования больших объёмов тепличных почв. Сначала почву подготавливают, затем её равномерно распределяют по поверхности пола теплицы, после высаживают растения. А после сбора урожая и удаления растительных остатков требуется удалить верхний слой почвы, называемый «санитарный». Для выполнения данного процесса существует технологическая схема, описание которой дано в первой главе. Существующая технологическая схема имеет низкую производительность, сопряжённую со значительными затратами трудовых и материальных ресурсов, что в итоге приводит к увеличению себестоимости выпускаемой продукции.

### **2.1 Предлагаемая технологическая схема удаления и погрузки санитарного слоя почвы в теплицах**

Анализ существующих технологических схем позволил установить их недостатки и обосновать новую технологию, основанную на совмещении операций удаления и погрузки санитарного слоя почвы. Предлагаемая технологическая схема основана на использовании навесной машины, позволяющей одновременно проводить удаление и погрузку отделяемого санитарного слоя. Отличие существующей и предлагаемой схем заключается в сокращении количества последовательно выполняемых операций и исключением из технологической операции специального погрузчика.

Предлагаемая технологическая схема (Рисунок 2.1) включает трактор Т-70 с разработанной навесной машиной, которые одновременно осуществляют удаление и погрузку почвы в самоходное шасси ВТЗ-30СШ.

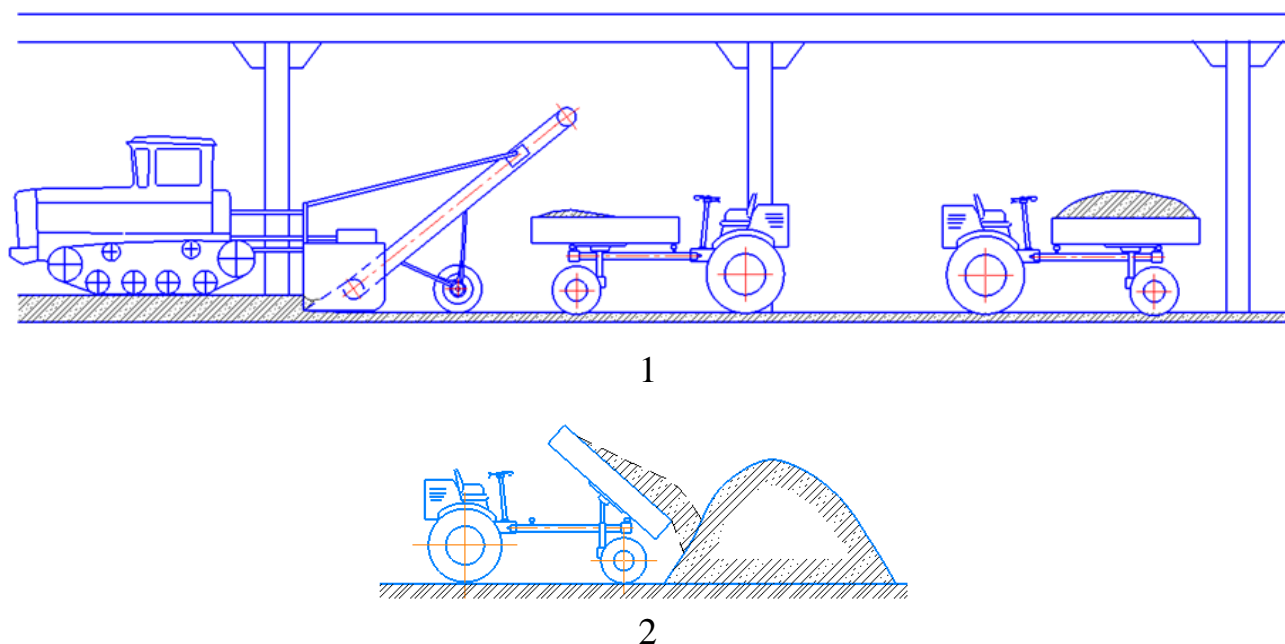


Рисунок 2.1 – Схема предлагаемой технологии удаления санитарного слоя почвы из теплицы на основе использования навесной машины для удаления и погрузки почвы в теплицах: 1 - снятие и одновременная погрузка санитарного слоя почвы; 2 - вывоз санитарного слоя почвы за пределы теплицы к месту складирования

Предлагаемая технологическая схема позволит повысить производительность труда и снизить энергозатраты на технологический процесс.

## **2.2 Предлагаемая конструкционно-технологическая схема навесной машины для удаления и погрузки санитарного слоя почвы**

Предлагаемая конструкционно-технологическая схема навесной машины для удаления и погрузки почвы в теплицах содержит: «несущую раму 1, транспортер 2, ковш 3, механизм навески 4 и механизм привода 5, нижние 6 и верхние 7 тяги (Рисунок 2.2) (патент РФ на изобретение №2621041)» [66]. «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. Механизм навески закреплен на передней части, а механизм привода - на задней части верхней стенки ковша. Такое расположение механизмов навески и привода позволяет уменьшить габариты машины, сделать ее более компактной, что необходимо при

работе в условиях теплиц. Транспортёр расположен сзади ковша, нижней частью за кромкой днища ковша, для обеспечения захвата поступающей от ковша массы почвы» [67].

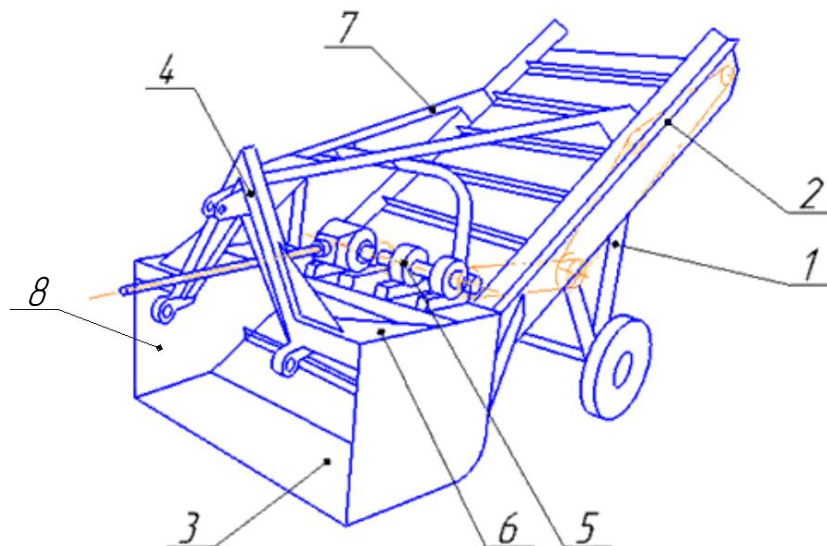


Рисунок 2.2 – Схема навесной машины для удаления и погрузки почвы в теплицах: 1 - несущая рама; 2 – транспортёр планчатый; 3 – ковш; 4 - механизм навески; 5- механизм привода; 6 –верхняя стенка ковша; 7 - верхняя тяга; 8 - отвал

«Благодаря такому устройству машина эффективно удаляет использованный почвенный слой в условиях ограниченного пространства теплиц.

Работает навесная машина для удаления и погрузки почвы в теплицах следующим образом. При движении машины вслед за трактором тяговое усилие составным частям передается за счет несущей рамы 1. Ковш 3 внедряется в слой почвы, расположенный на поверхности теплицы. По днищу ковша отделенный слой почвы движется к транспортёру 2, который жестко соединен с ковшом посредством нижних 6 и верхних 7 тяг. Отвал 8 смещает почву с боковых сторон к отгрузочному транспортёру. Транспортёр при движении опирается на несущую раму 1 и приводится в движение механизмом привода 5. Отделенный ковшом 3 слой почвы попадает на транспортёр 2 и далее перемещается им в транспортное средство. Поскольку нижняя часть транспортёра расположена за задней кромкой

ковша, вся почва, отделенная ковшом, попадает на транспортер. Расположение механизма навески 4 и механизма привода 5 на верхней стенке ковша 1 способствует компактности машины» [68].

### 2.3 Конструктивные параметры рабочих органов навесной машины для удаления и погрузки почвы

Основными параметрами навесной машины для удаления и погрузки почвы являются: скорость движения машины при уборке почвы из теплицы  $v_m$  (м/с); ширина режущей кромки  $B$  (мм); высота почвенного пласта  $h$  (мм); угол наклона поверхности ковша  $\gamma$  (град) (Рисунок 2.3).

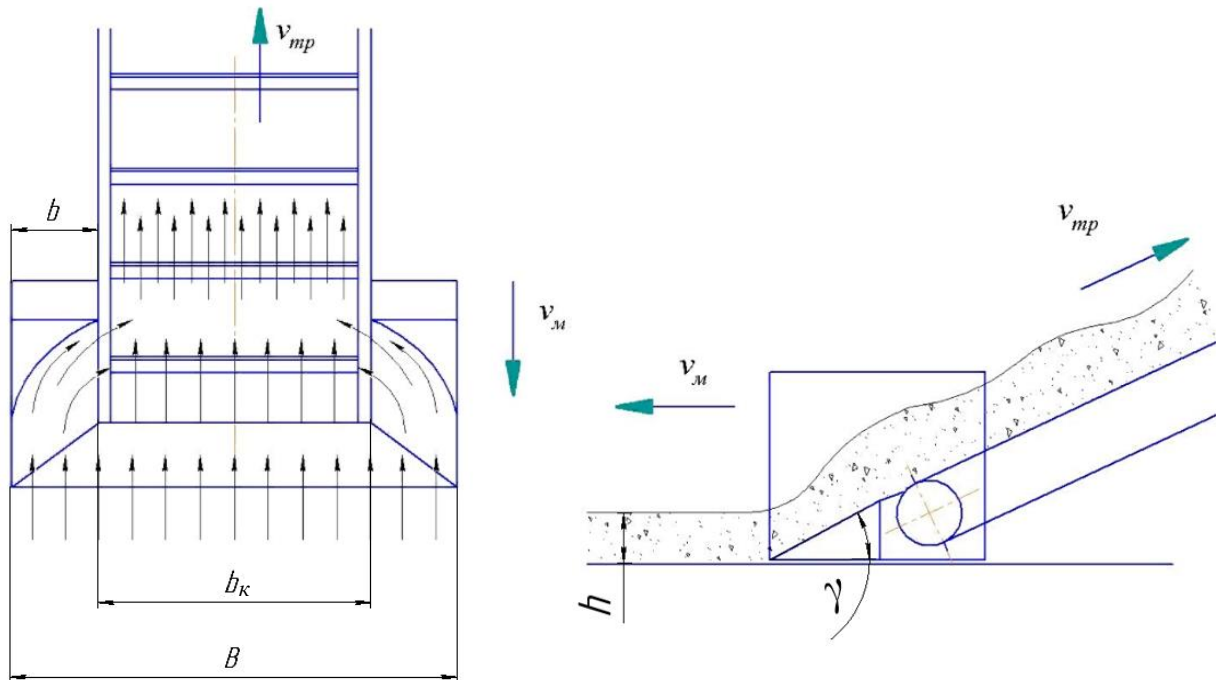


Рисунок 2.3 – Обозначения конструктивных параметров навесной машины для удаления и погрузки почвы:  $v_m$  - скорость движения машины при уборке почвы из теплицы;  $B$  - ширина режущей кромки;  $h$  - высота почвенного пласта;  $\gamma$  - угол наклона поверхности ковша;  $b$  – ширина отвала;  $b_k$  – ширина ковша без отвала

Данные параметры дают возможность полностью отразить взаимодействие рабочих органов машины для удаления и погрузки с тепличной почвой.

## 2.4 Взаимодействие конструктивных элементов рабочих органов машины для удаления и погрузки с почвой

Первоначально отделение санитарного слоя происходит передней кромкой днища ковша, затем по ширине захвата на отделяемый слой воздействуют боковые кромки. Под воздействием режущих кромок происходит полное отделение удаляемого слоя от основного массива. После отделения части почвы движутся по наклонной плоскости днища ковша и по криволинейным поверхностям боковых стенок отвала к отгрузочному транспортеру. На рисунке 2.4 стрелками показано движение отделяемых частей почвы по ковшу и отвалу.

Таким образом, сопротивление отделению слоя почвы будут оказывать следующие силы (Рисунок 2.5):  $F_{\text{трк}}$  – сила трения по поверхности ковша,  $F_{\text{д}}$  – сила необходимая для деформации почвы на ковше,  $F_{\text{от}}$  – сила сопротивления движению боковых стенок отвала,  $F_{\text{тро}}$  – сила трения о поверхность отвала,  $F_{\text{о}}$  – сила необходимая для деформации почвы на отвале,  $F_{\text{р}}$  – сила сопротивления резанию почвы передней кромкой ковша,  $N_{\text{о}}$  – реакция поверхности отвала,  $N_{\text{к}}$  – реакция поверхности ковша.

Теоретически на частицы также действует сила инерции  $F_{\text{и}}$ , однако с учетом движения машины почва в первоначальный момент времени относительно земли (по оси ОХ) остается фактически неподвижной, силу инерции учтем в процессе движения почвы по поверхности ковша. Тогда ковш преодолевает сопротивления только от сил трения и от деформации почвы. По оси ОУ добавляется сила тяжести. Составим уравнения сил по осям ОХ и ОУ. Сумма проекций сил на ось ОХ:

$$\sum F_x = -F_{\text{к}}^x - F_{\text{от}}^x = -F_{\text{р}} - 2F_{\text{г}} - \frac{(F_{\text{и}} + F_{\text{трк}})}{\cos\gamma} - 2F_{\text{о}} - \frac{(F_{\text{тро}} \cdot \cos\theta)}{\cos\gamma} \quad (2.1)$$

Сумма проекций сил на ось ОУ:

$$\sum F_y = -F_{\text{г}} - \frac{(F_{\text{и}} + F_{\text{трк}})}{\sin\gamma} - \frac{(F_{\text{тро}} \cdot \sin\theta)}{\sin\gamma} \quad (2.2)$$

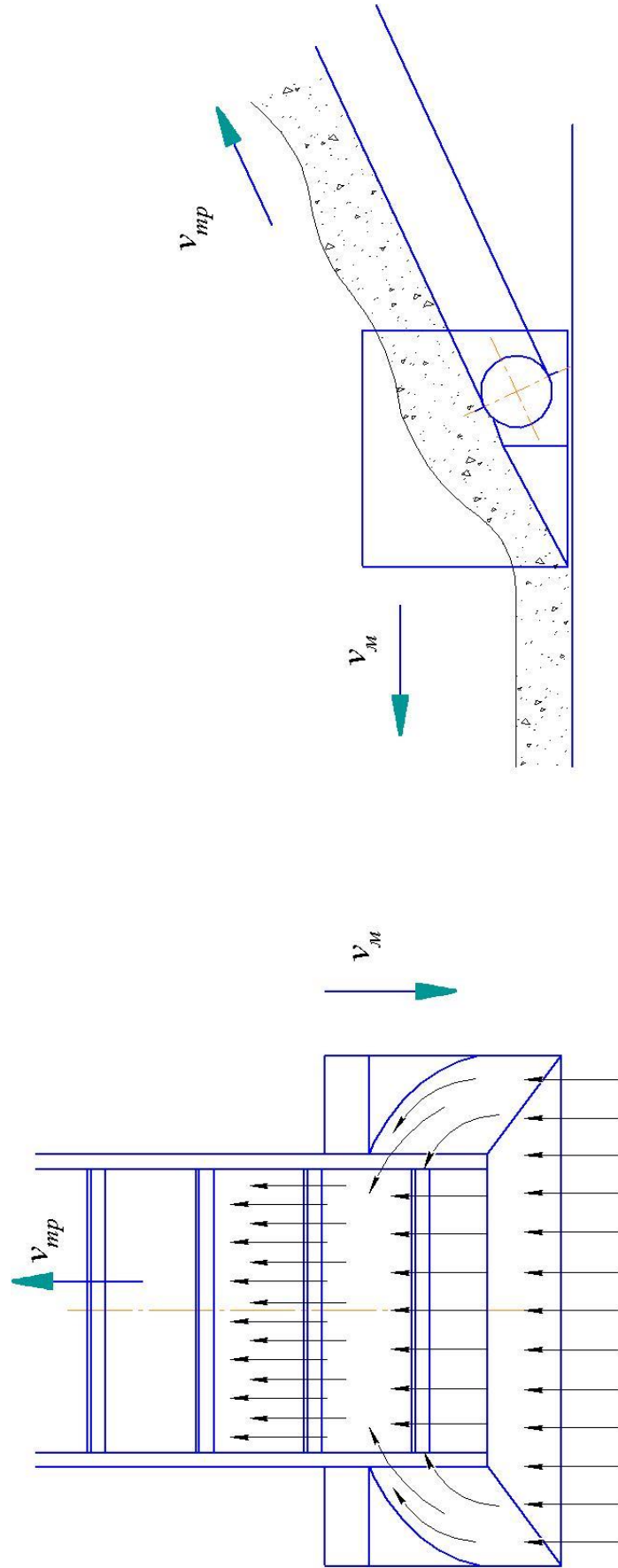


Рисунок 2.4 – Движение отделяемых частей почвы по отвалу

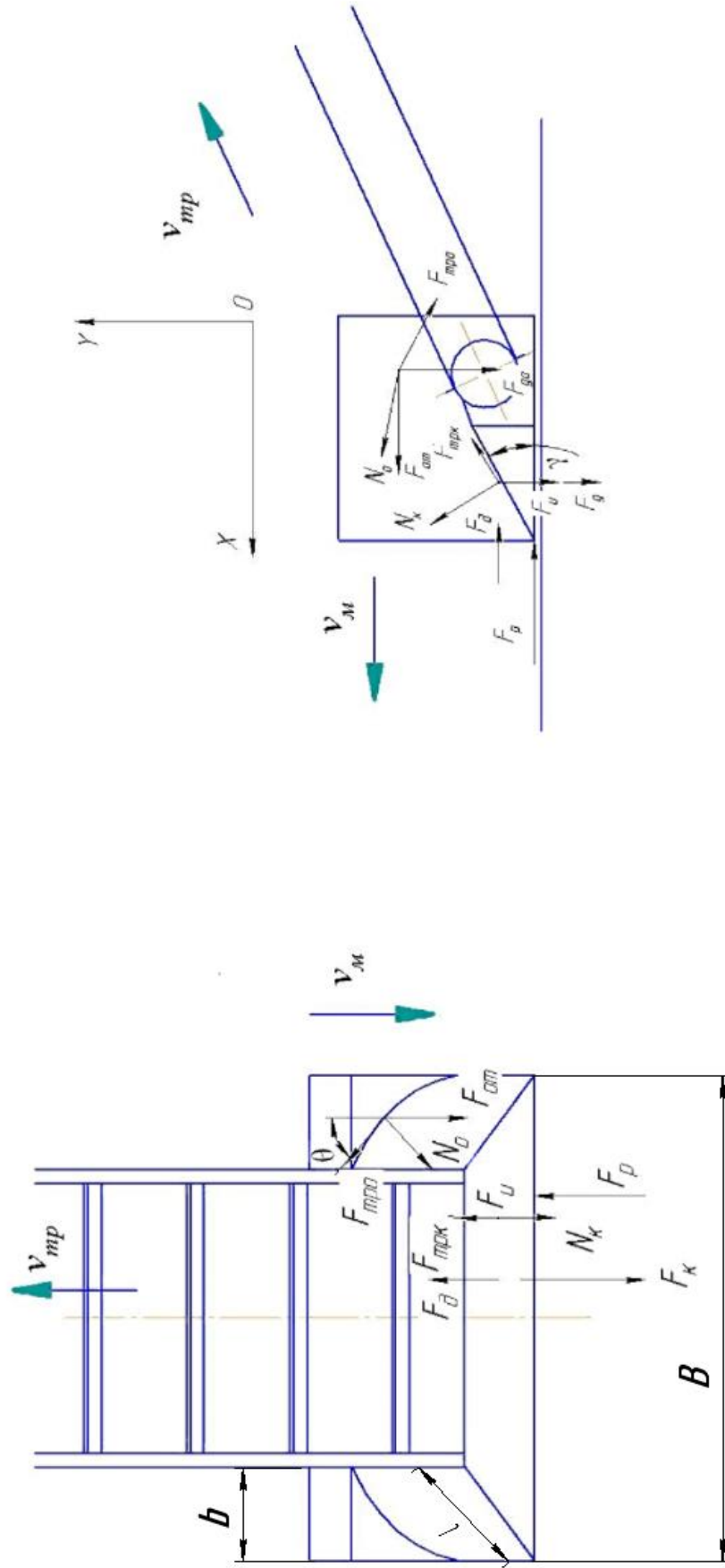


Рисунок 2.5— Схема сил, действующих на ковш при отделении слоя тепличной почвы от основного массива

После подстановки входящих в силы параметров получим:

$$\begin{aligned} \sum F_x = F_K^x + F_{OT}^x = \tau_p \cdot B \cdot \delta + 2 \cdot \sigma_\partial \cdot b \cdot h + \frac{(m \cdot a + m_K \cdot g \cdot f_K)}{\cos \gamma} + \\ + 2\tau_0 \cdot l \cdot s + \frac{m_0 \cdot g \cdot f_0 \cos \theta}{\cos \gamma}, \end{aligned} \quad (2.3)$$

$$\sum F_y = -m \cdot g - \frac{(m \cdot a + m_K \cdot g \cdot f_K)}{\sin \gamma} - \frac{2 \cdot m_0 \cdot g \cdot f_0 \cdot \sin \theta}{\sin \gamma}, \quad (2.4)$$

где  $\tau_p$  – напряжение резания почвы, Н/м<sup>2</sup>;

$B$  – ширина режущей кромки, м;

$\delta$  – толщина режущей кромки, м;

$\sigma_\partial$  – напряжение внутреннего разрыва почвенного пласта после отделения режущей кромкой, Н/м<sup>2</sup>;

$b$  – ширина боковой поверхности отвала, м;

$h$  – высота почвенного пласта, м;

$m$  – масса почвы при отделении режущей кромкой, кг;

$m_K$  – масса почвы на ковше, кг;

$a$  – ускорение, м/с<sup>2</sup>;

$g$  – ускорение свободного падения, м/с<sup>2</sup>;

$f_K$  – коэффициент трения почвы по поверхности ковша;

$\tau_0$  – напряжение сдвига частей почвы на отвале, Н/м<sup>2</sup>;

$l$  – длина боковой проекции отвала, м;

$s$  – высота слоя почвы на отвале, м;

$m_0$  – масса почвы на отвале, кг;

$f_0$  – коэффициент трения почвы по поверхности отвала;

$\gamma$  – угол наклона поверхности отвала, град;

$\theta$  – средний угол поверхности отвала, град.

Полное усилие на отвале для преодоления всех сопротивлений при работе почвоуборочной машины определяется:

$$F_0^{\Pi} = \sqrt{\sum F_x^2 + \sum F_y^2}, \quad (2.5)$$



Полученные выражения 2.1; 2.2; 2.3; 2.4 представляют собой силовой анализ взаимодействия рабочих органов с почвой и его компонентами всего комплекса предлагаемых машин и рабочих органов для выполнения процессов разработанной технологической схемы. Выражения связывают усилия взаимодействия с основными параметрами рабочих органов и физико-механическими свойствами тепличных почв.

## 2.5 Мощность привода машины для удаления и погрузки почвы

Проведенный силовой анализ позволил установить аналитические выражения для мощности необходимой для выполнения технологического процесса удаления почвенного слоя из теплицы.

Мощность для перемещения отделенной почвы по горизонтали (по оси ОХ, рисунок 2.5):

$$P_{\Gamma} = \sum F_x \cdot v, \quad (2.6)$$

$$P_{\Gamma} = \left\{ \tau_p \cdot B \cdot \delta + 2 \cdot \sigma_{\partial} \cdot b \cdot h + \frac{(m \cdot a + m_k \cdot g \cdot f_k)}{\cos \gamma} + 2 \cdot \tau_0 \cdot l \cdot s + \right. \\ \left. + \frac{2 \cdot (m_0 \cdot g \cdot f_0 \cdot \cos \theta)}{\cos \gamma} \right\} \cdot v, \quad (2.7)$$

где  $m$  - масса почвы при отделении режущей кромкой:  $m = \rho \cdot B \cdot h \cdot v \cdot t$ ,

$m_k$  - масса почвы на ковше:  $m_k = \rho \cdot b_k \cdot h_k \cdot v \cdot t$ ,

где  $b_k$  – ширина почвенного слоя на ковше,

$h_k$  – высота почвенного слоя на ковше

$m_0$  – масса почвы на отвале:  $m_0 = \rho \cdot b \cdot h_0 \cdot v_0 \cdot t$ ,

где  $b$  – ширина почвенного пласта на отвальной поверхности (равна ширине боковой поверхности отвала), м;

$h_0$  - высота слоя почвы на отвале,

$v_0$  - скорость движения почвы на отвале.

Тогда формула (2.14) примет вид:

$$P_{\Gamma} = \left\{ \tau_p \cdot B \cdot \delta + 2 \cdot \sigma_{\theta} \cdot B \cdot h + \frac{\rho(B \cdot h \cdot v^2 + b_k \cdot h_k \cdot v \cdot t \cdot g \cdot f_k)}{\cos \gamma} + 2 \cdot \tau_0 \cdot l \cdot s + \frac{2 \cdot (\rho \cdot b \cdot h_0 \cdot v_0 \cdot t \cdot g \cdot f_0 \cdot \cos \theta)}{\cos \gamma} \right\} \cdot v, \quad (2.8)$$

Мощность для подъёма отделенной почвы при работе машины по поверхности отвала:

$$P_{\Pi} = \sum F_y v_y = \left( m \cdot g + \frac{\rho(B \cdot h \cdot v^2 + b_k \cdot h_k \cdot v \cdot t \cdot g \cdot f_k)}{\sin \gamma} + \frac{2(\rho \cdot b \cdot h_0 \cdot v_0 \cdot t \cdot f_0 \cdot \sin \theta)}{\sin \gamma} \right) \cdot v_y, \quad (2.9)$$

где  $v_y$  – скорость подъёма почвы по вертикали,  $v_y = v \cdot \sin \beta$ .

$$P_{\Pi} = \sum F_y v_y = \left( \rho \cdot B \cdot h \cdot v \cdot t \cdot g + \frac{\rho(B \cdot h \cdot v^2 + b_k \cdot h_k \cdot v \cdot t \cdot g \cdot f_k)}{\sin \gamma} + \frac{2(\rho \cdot b \cdot h_0 \cdot v_0 \cdot t \cdot f_0 \cdot \sin \theta)}{\sin \gamma} \right) \cdot v \cdot \sin \gamma, \quad (2.10)$$

Общая мощность на выполнение процесса удаления почвенного слоя из теплиц будет равна сумме мощности для перемещения удаленного слоя по горизонтали; мощности для подъёма отделенной почвы по поверхности отвала к отгрузочному транспортёру; мощности для привода отгрузочного транспортёра и на перемещение самой машины в процессе работы:

$$\sum P = P_0 + P_{\Gamma} + P_{\Pi}, \quad (2.11)$$

где  $P_0$  - мощность необходимая для перемещения самой машины в процессе работы, Вт.

После подстановки:

$$\sum P = P_0 + \left\{ \tau_p \cdot B \cdot \delta + 2 \cdot \sigma_{\theta} \cdot B \cdot h + \frac{\rho(B \cdot h \cdot v^2 + b_k \cdot h_k \cdot v \cdot t \cdot g \cdot f_k)}{\cos \gamma} + 2 \cdot \tau_0 \cdot l \cdot s + \frac{2 \cdot (\rho \cdot b \cdot h_0 \cdot v_0 \cdot t \cdot g \cdot f_0 \cdot \cos \theta)}{\cos \gamma} \right\} \cdot v + \left( \rho \cdot B \cdot h \cdot v \cdot t \cdot g + \frac{\rho(B \cdot h \cdot v^2 + b_k \cdot h_k \cdot v \cdot t \cdot g \cdot f_k)}{\sin \gamma} + \frac{2(\rho \cdot b \cdot h_0 \cdot v_0 \cdot t \cdot f_0 \cdot \sin \theta)}{\sin \gamma} \right) \cdot v \cdot \sin \gamma, \quad (2.12)$$

## 2.6 Производительность машины для удаления и погрузки почвы в теплицах

Исходной формулой для определения производительности машины для удаления санитарного слоя почвы будет формула производительности машин непрерывного транспорта [121 ], кг/с:

$$Q_T = \rho \cdot A \cdot v, \quad (2.13)$$

где  $\rho$  – плотность материала, кг/м<sup>3</sup>;

$A$  – площадь поперечного сечения потока материала, м<sup>2</sup>;

$v$  – скорость движения потока материала (или машины), м/с.

По принципу действия машина для удаления тепличной почвы относится к машинам непрерывного транспорта с загрузкой напорным усилием относительно потока материала. Однако, особенностью процесса исследуемой машины является работа с относительно невысоким слоем почвы. В отличие от погрузчиков напорного действия, работающих с буртами грузов, в данном случае реакция невысокого слоя почвы также не велика из-за его крошения. В связи с этим, производительность будет снижаться из-за смещения некоторой части слоя при захвате напорным усилием обратно к основному массиву (нагребания перед рабочим органом). Кроме того, при работе машины происходит скапливание почвы на боковых поверхностях отвала.

Производительность машины в этом случае будет определяться:

$$Q_M = Q_T - \Delta Q_{вз} - \Delta Q_{сз}, \quad (2.14)$$

где  $Q_T$  – теоретическая производительность предлагаемой машины, кг/с.

$$Q_T = \rho \cdot B \cdot h \cdot v, \quad (2.15)$$

где  $B$  – ширина захвата отвала, м;  $h$  – высота слоя почвы, м.

$\Delta Q_{вз}$  – часть потерь теоретической производительности (кг/с), учитывающая возврат почвы при захвате слоя напорным усилием и зависящая от угла наклона рабочей поверхности ковша;

$\Delta Q_{cz}$  - часть потерь теоретической производительности (кг/с), учитывающая скапливание почвы на боковых поверхностях отвала.

Влияние угла наклона на потери теоретической производительности из-за возврата почвы при захвате носит нелинейный характер. При малых углах эффект оказывает только передняя кромка, поверхность ковша влияет незначительно. С увеличением угла наклона более 15 градусов влияние поверхности ковша возрастает и при углах более 25 возникает значительный эффект нагребания. Данная зависимость может быть отражена квадратичной тригонометрической функцией. Тогда снижение производительности будет определяться:

$$\Delta Q_{cz} = \rho \cdot B \cdot h \cdot v \cdot \sin^2 \gamma, \quad (2.16)$$

где  $\gamma$  – угол наклона рабочей поверхности ковша.

Влияние на производительность скапливания почвы на боковых поверхностях отвала связано с тем, что ширина рабочего органа больше ширины отгрузочного транспортера. Поэтому происходит замедление движения отделенной почвы на боковых поверхностях отвала. В связи с этим снижение производительности составит:

$$\Delta Q_{cz} = \rho \cdot (B - b_k) \cdot h \cdot v \cdot \frac{l_{om}}{l_{\delta no}}, \quad (2.17)$$

где  $b$  – ширина боковой поверхности отвала, м;

$l_{om}$  – длина боковой поверхности отвала по образующей, м;

$l_{\delta no}$  – длина проекции боковой поверхности отвала, измеренная по направлению движения почвы, м.

Производительность машины с учетом указанных потерь:

$$Q_m = \rho \cdot B \cdot h \cdot v - \rho \cdot B \cdot h \cdot v \cdot \sin^2 \gamma - \rho \cdot (B - b_k) \cdot h \cdot v \cdot \frac{l_{om}}{l_{\delta no}}, \quad (2.18)$$

После преобразований:

$$Q_m = \rho \cdot B \cdot h \cdot v \cdot \left(1 - \sin^2 \gamma - \left(1 - \frac{b_k}{B}\right) \cdot \frac{l_{om}}{l_{\delta no}}\right), \quad (2.19)$$

Длины  $l_{om}$  и  $l_{ono}$  взаимозависимы и являются конструктивными параметрами боковой поверхности рабочего органа. Если форма боковой поверхности – часть цилиндра, а сечение криволинейный треугольник, то длину  $l_{ono}$  необходимо задать,  $l_{om}$  – определить расчетом или графически.

## 2.7 Энергоёмкость

Энергоёмкость технологического процесса при использовании тепличной почвы  $E$  (Дж/кг) – это работа на выполнение операции или суммы всех операций, приходящаяся на единицу его массы.

В общем случае энергоёмкость определяется:

$$E = \frac{P}{Q}, \quad (2.20)$$

где  $P$  – суммарная мощность привода, Вт;

$Q$  – производительность, кг.

Таким образом, могут быть получены математические модели энергоёмкости каждого из исследуемых процессов.

Энергоёмкость удаления слоя почвы предлагаемой машиной:

$$E_{уд} = \frac{\sum P}{Q} = \frac{P_0 + P_\Gamma + P_\Pi}{Q}, \quad (2.21)$$

После подстановки:

$$E_{уд} = \left[ P_0 + \left\{ \tau_p \cdot B \cdot \delta + 2 \cdot \sigma_\partial \cdot B \cdot h + \frac{\rho(B \cdot h \cdot v^2 + b_k \cdot h_k \cdot v \cdot t \cdot g \cdot f_k)}{\cos \gamma} + 2 \cdot \tau_0 \cdot \right. \right. \\ \cdot l \cdot s + \left. \left. \frac{2 \cdot \rho \cdot b \cdot h_0 \cdot v_0 \cdot t \cdot g \cdot f_0 \cdot \cos \theta}{\cos \gamma} \right\} \cdot v + \left( \rho \cdot B \cdot h \cdot v \cdot t \cdot g + \right. \\ \left. + \frac{\rho(B \cdot h \cdot v^2 + b_k \cdot h_k \cdot v \cdot t \cdot g \cdot f_k)}{\sin \gamma} + \frac{2(\rho \cdot b \cdot h_0 \cdot v_0 \cdot t \cdot f_0 \cdot \sin \theta)}{\sin \gamma} \right) \cdot v \cdot \sin \gamma \right] / \\ / \left[ \rho \cdot B \cdot h \cdot v \cdot \left( 1 - \sin^2 \gamma - \left( 1 - \frac{b_k}{B} \right) \cdot \frac{l_{от}}{l_{ono}} \right) \right], \quad (2.22)$$

## 2.8 Выводы по главе

1. Предложена новая технологическая схема, основанная на использовании навесной машины, которая позволит одновременно провести удаление и погрузку санитарного слоя почвы. Для осуществления данной технологии разработана конструктивно-технологическая схема навесной машины для удаления и погрузки почвы в теплицах (патент РФ на изобретение №2621041).

2. Получены аналитические выражения, связывающие усилия взаимодействия с основными параметрами рабочих органов и физико-механическими свойствами тепличной почвы и её компонентов, производительности (2.19) и энергоёмкости (2.22).

3. Установлена теоретическая зависимость мощности необходимой для привода, производительности и энергоёмкости навесной машины для удаления почвы в теплицах. Наибольшее влияние на указанные критерии оказывают скорость движения машины, угол наклона рабочей поверхности ковша, высота удаляемого слоя почвы, ширина захвата рабочего органа.

### **3 ПРОГРАММА И МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ**

Исходя из общих задач исследований, программа экспериментальных исследований предусматривала:

- установить работоспособность навесной машины для удаления и погрузки почвы;
- экспериментальный контроль физико-механических и технологических свойств почвы в санитарном слое;
- проверку результатов теоретических исследований;
- получение экспериментальных зависимостей в виде уравнений регрессии и графических трехмерных поверхностей, связывающих исследуемые факторы и критерии оптимизации;
- экспериментальное обоснование рациональных параметров рабочих органов навесной машины для удаления и погрузки почвы;
- сравнение полученных экспериментальных результатов с теоретическими положениями.
- проверку эффективности применения навесной машины для удаления и погрузки почвы в условиях тепличного производства.

Методика экспериментальных исследований включала:

- разработку и изготовление опытного образца навесной машины для удаления и погрузки почвы в натуральную величину;
- исследование физико-механических свойств тепличной почвы;
- исследование режимных и конструктивных параметров навесной машины для удаления и погрузки почвы;
- определение оптимальных значений параметров навесной машины для удаления и погрузки почвы;
- сравнение полученных экспериментальных результатов с теоретическими положениями.

### 3.1 Методика исследования физико-механических свойств тепличной почвы

Тепличные почвы относятся к насыпным грунтам и представляют собой смеси различных компонентов: торф, навозный компост, гумусовые горизонты зональных почв и др. В зависимости от соотношения и вида смешиваемых материалов они подразделяются на:

- **«органические**, имеют в основе один или несколько компонентов (торф; древесные отходы - опилки, кора, лигнин; солома, вермикомпост и др.);

- **органоминеральные**, представляющие собой смесь торфа с навозным компостом (перегноем) и с гумусовыми горизонтами естественных почв;

- **минеральные**, имеют в основе гумусовые горизонты естественных почв с добавлением небольшого количества местных органических материалов и перепревшего навоза;

- **искусственные** (гидропонные) субстраты, представляющие собой сравнительно инертные твердые материалы (гравий, гранитная щебенка, песок, керамзит, перт, вермикулит, минеральная вата типа градам и др.);

- **искусственные почвы**, представляющие собой химические ионообменные смолы, насыщенные питательными элементами (применяют в небольших масштабах в экспериментальных установках)» [19].

По плотности тепличные почвы разделяют на рыхлые, нормальные, уплотненные, сильно уплотненные.

По длительности использования «тепличные почвы бывают ежегодно сменяемые, свежие (2 - 4 года), зрелые (4 - 8 лет), длительного использования (8 - 12 лет) и бессменные (более 12 лет)» [19].

Определение перечисленных физико-механических свойств тепличных почв проводилось по известным методикам, изложенным в работах [71, 72, 73, 74].

Влажность тепличной почвы определялась высушиванием вырезанной пробы материала в сушильном шкафу до постоянной массы:



$$W = [(G_B - G_C) / G_B] \cdot 100, \quad (3.1)$$

где  $W$  – относительная влажность материала, %;

$G_B$  – масса влажной пробы, гр.;

$G_C$  – масса сухой пробы, гр.

Взвешивание проводилось на электронных лабораторных весах с точностью измерения до 0,1 грамма.

Тепличная почва является динамичной системой, в которой постоянно происходят химические и биологические процессы. Грибки и бактерии разлагают растительные остатки, и они превращаются из сложных органических соединений в минеральные, что ведет к изменению структуры материала. Следует учитывать, что тепличные почвы в разное время имеют разную плотность.

Плотность тепличной почвы изменяется в зависимости от микроклимата в помещении, а относительная величина плотности почвы может изменяться до 30-40%. Коэффициент уплотнения тепличной почвы изменяется в пределах – от 0,95 до 1,5.

Плотность (объемная масса) представляет собой массу вещества в единице объема. Плотность тепличной почвы определяли по формуле:

$$\rho = m / V, \quad (3.2)$$

где  $\rho$  – плотность, кг/м<sup>3</sup>;

$m$  – масса груза, кг;

$V$  – объемная порция груза, м<sup>3</sup>.

Для определения предельных напряжений сдвига разработана установка (рисунок 3.1, 3.2). Установка «состоит из желоба 1, в котором по направляющим 2 передвигается тележка без дна 3, соединенная тросом, перекинутым через шкив 4 с грузовой чашей 5. Внутри желоба 1, на опорах 6 установлена съёмная полоса 7, выполненная из исследуемого материала, с зазором между тележкой и полосой 0,5 – 2 мм. Исследуемый материал в тележке 3 прижимаются к съёмной полосе 7 пластиной 8 и грузом 9. Опыты проводились следующим образом, в тележку помещалась порция тепличной почвы, затем на неё устанавливалась пластина с

грузом. Затем увеличивали массу грузовой чаши, пока тележка с почвой не начинала движение» [77]. Опыты проводились с трехкратной повторностью.

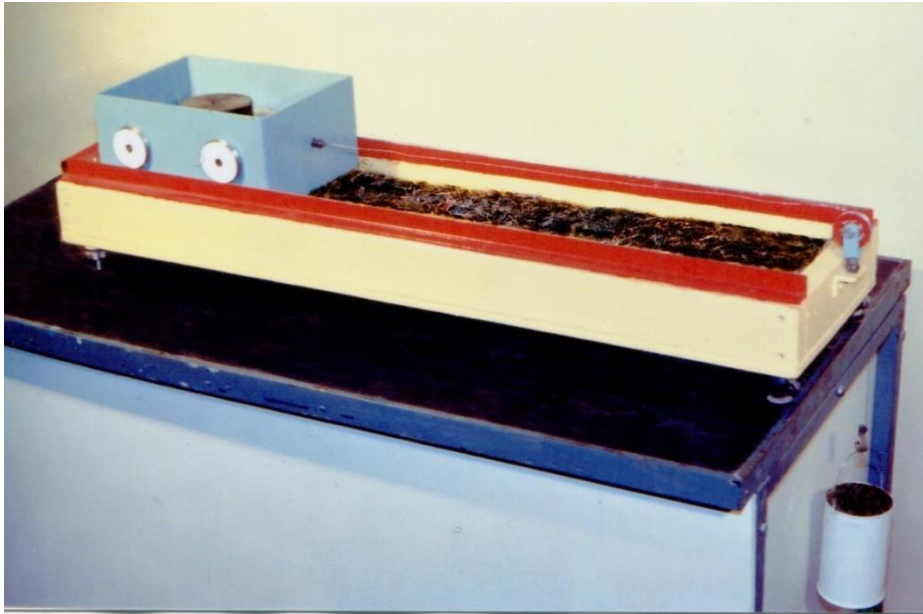


Рисунок 3.1 - Установка для определения напряжений сдвига

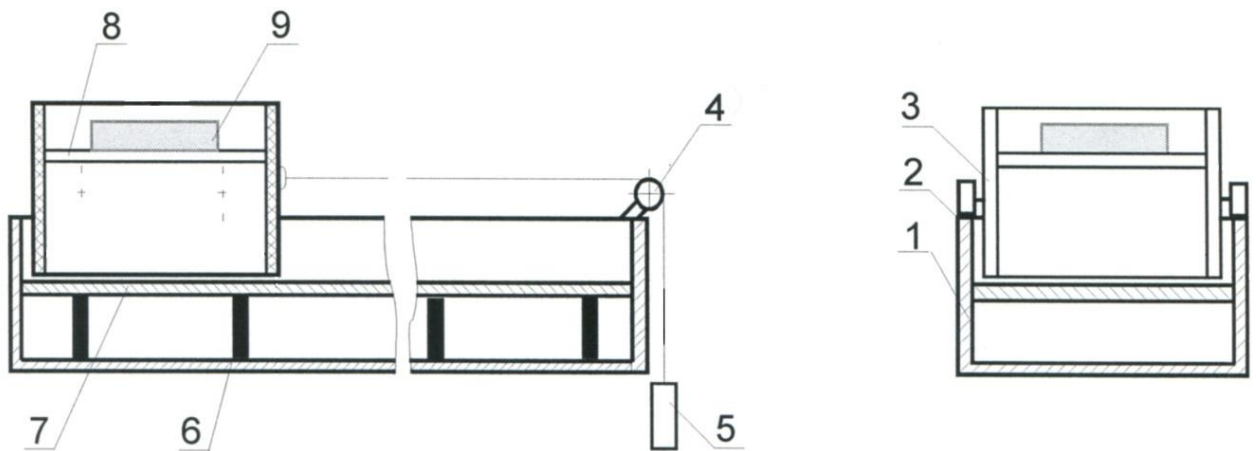


Рисунок 3.2 - Схема установки для определения напряжений сдвига:

1 – жёлоб; 2 – направляющие; 3 – тележка; 4 – шкив; 5 – грузовая чаша;

6 – опоры; 7 – съёмная полоса; 8 – пластина; 9 – груз

Предельные напряжения сдвига подсчитывались по формуле:

$$\tau = F_{сд} / A_{сд}, \quad (3.3)$$

где  $\tau$  – напряжение сдвига, Н/мм<sup>2</sup>;

$F_{cd}$  – усилие начального сдвига, Н;

$A_{cd}$  – площадь поверхности сдвига, мм<sup>2</sup>.

Формула (3.3) показала, что величина напряжения сдвига  $\tau$  прямо пропорциональна усилию начального смещения при сдвиге, обозначенного, как  $F_{cd}$ , и обратно пропорциональна площади поверхности, которая соотносилась со сдвигом. То есть были сделаны выводы о возрастании напряжения сдвига при увеличении усилия при начальном смещении и уменьшении при росте площади поверхности сдвига.

### 3.2 Описание экспериментальной установки

Исследования проводились на опытном образце навесной машины для удаления и погрузки почвы, изготовленного в натуральную величину в соответствии с ранее обоснованной конструкцией и параметрами.

Навесная машина для удаления и погрузки почвы в теплицах (рисунок 3.3) содержит ковш с боковыми отвалами, транспортер с ходовой частью, механизм навески и механизм привода, при этом транспортер расположен сзади ковша нижней частью за кромкой днища ковша, ковш соединен с транспортером посредством нижних и верхних тяг, а механизмы навески и привода закреплены на верхней стенке ковша, при чем механизм навески на передней части, а механизм привода на задней части верхней стенки ковша (рисунок 3.4).

Работает навесная машина для удаления и погрузки почвы в теплицах следующим образом. При движении машины вслед за трактором ковш внедряется в слой почвы, расположенный на поверхности теплицы. По днищу ковша и боковым поверхностям отвала отделенный слой почвы движется к транспортеру, который жестко соединен с ковшом посредством нижних и верхних тяг. Транспортер при движении опирается на ходовую часть и приводится в движение механизмом привода. Отделенный ковшом слой почвы попадает на транспортер и далее перемещается им в транспортное средство. Поскольку нижняя часть транспортера расположена за задней кромкой ковша вся почва, отделенная

ковшом, попадает на транспортер. Расположение механизма навески и механизма привода на верхней стенке ковша способствует компактности машины [2].

Благодаря такому устройству, машина эффективно удаляет использованный почвенный слой в условиях ограниченного пространства теплиц.



Рисунок. 3.3 - Общий вид навесной машины для удаления и погрузки почвы

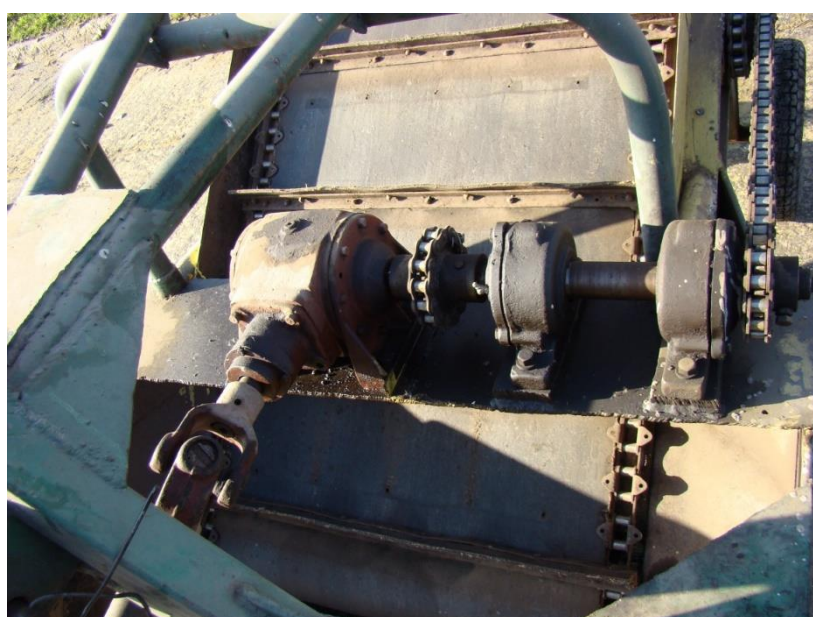


Рисунок. 3.4 - Механизм привода машины

### 3.3 Программа и методика экспериментальных исследований

В соответствии с задачами, поставленными в работе и теоретическими разработками, программа исследований включала серию двухфакторных экспериментов. Двухфакторным экспериментом изучалось влияние на критерии оптимизации конструктивных и режимных параметров: поступательная скорость, высота удаляемого слоя, угол наклона рабочей поверхности отвала.

Навесная машина для удаления и погрузки почвы в экспериментальных исследованиях двигалась со скоростью равной поступательной скорости трактора. Поступательная скорость (фактор А) изменялась по четырем значениям и задавалась оборотами двигателя через коробку переменных передач. Высота санитарного слоя (фактор В) так же изменялось по четырем значениям и задавалось принудительно гидравлической системой навески. Критериями оптимизации в двухфакторном эксперименте являлись: усилие **F** (Н) и мощность **P** (Вт), затрачиваемые на перемещение машины; производительность **Q** (кг/с) и энергоёмкость **E** (Дж/кг) удаления и погрузки. План двухфакторного эксперимента приведен в таблице 3.1.

Вторым двухфакторным экспериментом изучалось влияние поступательной скорости и угла наклона поверхности отвала. Угол наклона задавался по четырём значениям 15; 20; 25; 30 град.

Результаты экспериментальных исследований обрабатывались с помощью пакета программ ЭВМ.

Получено уравнение регрессии вида:

$$Y = x_1 \cdot A^2 + x_2 \cdot A - x_3 \cdot B^2 + x_4 \cdot B - x_5, \quad (3.3)$$

где  $Y$  – критерий оптимизации – производительность  $Q$  (кг/с),

энергоёмкость  $E$  (Дж/кг), усилие  $F$  (Н), мощность  $P$  (Вт);

$x_1, x_2, x_3, x_4, x_5$  – коэффициенты регрессии;

$A$  – (фактор) – поступательная скорость машины, м/с;

$B$  – (фактор) – высота санитарного слоя, мм.

Переменная  $Y$  описывает процесс, который был рассмотрен, при использовании коэффициентов  $X_1, X_2, X_3, X_4, X_5$ .

Таблица 3.1 - Симметричный двухфакторный план эксперимента

№/№	Уровень факторов				Критерии оптимизации			
	<b>А</b> Поступательная скорость		<b>В</b> Высоты слоя		Производит ельность кг/с <b>Q</b>	Тяговое усилие, Н <b>F</b>	Мощнос ть, Вт <b>P</b>	Энергоем кость Дж/кг <b>E</b>
	№	м/с	№	мм.				
1	1	0,05	1	50	Q <sub>1</sub>	F <sub>1</sub>	P <sub>1</sub>	E <sub>1</sub>
2	1	0,05	2	100	Q <sub>2</sub>	F <sub>2</sub>	P <sub>2</sub>	E <sub>2</sub>
3	1	0,05	3	150	Q <sub>3</sub>	F <sub>3</sub>	P <sub>3</sub>	E <sub>3</sub>
4	1	0,05	4	200	Q <sub>4</sub>	F <sub>4</sub>	P <sub>4</sub>	E <sub>4</sub>
5	2	0,11	1	50	Q <sub>5</sub>	F <sub>5</sub>	P <sub>5</sub>	E <sub>5</sub>
6	2	0,11	2	100	Q <sub>6</sub>	F <sub>6</sub>	P <sub>6</sub>	E <sub>6</sub>
7	2	0,11	3	150	Q <sub>7</sub>	F <sub>7</sub>	P <sub>7</sub>	E <sub>7</sub>
8	2	0,11	4	200	Q <sub>8</sub>	F <sub>8</sub>	P <sub>8</sub>	E <sub>8</sub>
9	3	0,17	1	50	Q <sub>9</sub>	F <sub>9</sub>	P <sub>9</sub>	E <sub>9</sub>
10	3	0,17	2	100	Q <sub>10</sub>	F <sub>10</sub>	P <sub>10</sub>	E <sub>10</sub>
11	3	0,17	3	150	Q <sub>11</sub>	F <sub>11</sub>	P <sub>11</sub>	E <sub>11</sub>
12	3	0,17	4	200	Q <sub>12</sub>	F <sub>12</sub>	P <sub>12</sub>	E <sub>12</sub>
13	4	0,23	1	50	Q <sub>13</sub>	F <sub>13</sub>	P <sub>13</sub>	E <sub>13</sub>
14	4	0,23	2	100	Q <sub>14</sub>	F <sub>14</sub>	P <sub>14</sub>	E <sub>14</sub>
15	4	0,23	3	150	Q <sub>15</sub>	F <sub>15</sub>	P <sub>15</sub>	E <sub>15</sub>
16	4	0,23	4	200	Q <sub>16</sub>	F <sub>16</sub>	P <sub>16</sub>	E <sub>16</sub>

Проверка значимости уравнения регрессии состоит из следующих этапов [75, 76, 78, 79].

Вычисляют остаточную дисперсию по формуле:

$$S_{ост}^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \vec{y}_i)^2}{n - p - 1}, \quad (3.4)$$

Затем, полученный результат сравнили с дисперсией среднего  $S_{ост}$  при помощи  $F_k$  – критерия Фишера для этого нашли отношение:

$$F_{\kappa} = \frac{\overline{S}_y^2}{S_{ocm}^2}, \quad (3.5)$$

с числом степени свободы в числителе и знаменателе соответственно:  $\nu_{01} = n - 1$ ,  $\nu_{02} = n - r - 1$ .

Уравнение (3.5) предсказывает результаты опытов лучше среднего, если  $K_F$  достигается или превышает границу значимости при выбранном уровне значимости.

Значимость коэффициентов регрессии  $\alpha_i$  проверили по критерию Стьюдента:

$$\tau = \frac{A_1 - A_2}{\sqrt{a_1^2 + a_2^2}} \quad (3.6)$$

В формуле (3.6)  $A_1$  - число, равное среднему арифметическому данных сравниваемого множества значений,  $A_2$  - число, равное среднему арифметическому данных другого сравниваемого множества значений,  $a_1$  является средней ошибкой первой средней арифметической,  $a_2$  - это средняя ошибка другой средней арифметической величины.

Пусть число степеней свободы  $\nu_{02} = n - r - 1$ , то используя линейность, полученное значение  $\tau$  сравнили с  $\tau^T$ .

Погрешность коэффициента регрессии была найдена из выражения:

Погрешность коэффициента регрессии:

$$\overline{S}_{Ai} = \sqrt{S_{ocm}^2 \cdot C_{ii}} \quad (3.7)$$

Для доверительного интервала коэффициента регрессии был использован закрытый интервал, определяющий наибольшее и наименьшее значение коэффициента  $\alpha_i$ :

$$\alpha_i \in [A_i - \tau^T \overline{O}_D; A_i + \tau^T \overline{O}_D] \quad (3.8)$$

где  $\alpha_i$  - значение для коэффициента регрессии в генеральной совокупности.

### 3.4 Последовательность проведения опытов

Каждый опыт проводился в следующей последовательности:

1. Подготовка навесной машины для удаления и погрузки почвы в теплицах к эксперименту, навешивание машины на трактор. Установка требуемых конструктивных и режимных параметров, прогрев трактора. Подъезд к полуоси теплицы (рисунок 3.5).



Рисунок 3.5 - Подготовка машины к работе

2. Движение с постоянной поступательной скоростью.
3. Одновременное включение отгрузочного транспортёра.
4. Замер крутящего момента ВОМ и тяговое усилие (рисунок 3.6).
5. Выполнение рабочего процесса машины с замером времени работы (рисунок 3.7).
6. Остановка работы навесной машины для удаления и погрузки почвы в теплицах.
7. Визуальная оценка качества удаления санитарного слоя (рисунок 3.8).
8. Определение критериев оптимизации.
9. Заполнение журнала эксперимента.
10. Обработка результатов эксперимента.



По полученным данным проводилось определение технико-экономических показателей предлагаемой навесной машины для удаления и погрузки почвы в теплицах в сравнении с существующим комплексом машин.



Рисунок 3.6 - Комплекс МИГ-018 для измерения тягового усилия и крутящего момента



Рисунок 3.7 - Навесная машина для удаления и погрузки почвы в теплицах в работе

Для замера и фиксирования сопротивления почвы отделенной режущей кромкой ковша машины использовались следующие приборы и оборудование:

- секундомер, мерная линейка для измерения времени и перемещения машины;

- для регистрации действующих сопротивлений измерительный комплекс МИГ-018 [80];

- весы, разновесы и сушильный шкаф «СУ 2М», для определения влажности и плотности почвы (Рисунок 3.9).

Тарировка и проверка тензометрической аппаратуры и приборов производилась дважды: в период до и после проведения испытаний.



Рисунок 3.8 - Полуось теплицы после удаления санитарного слоя почвы

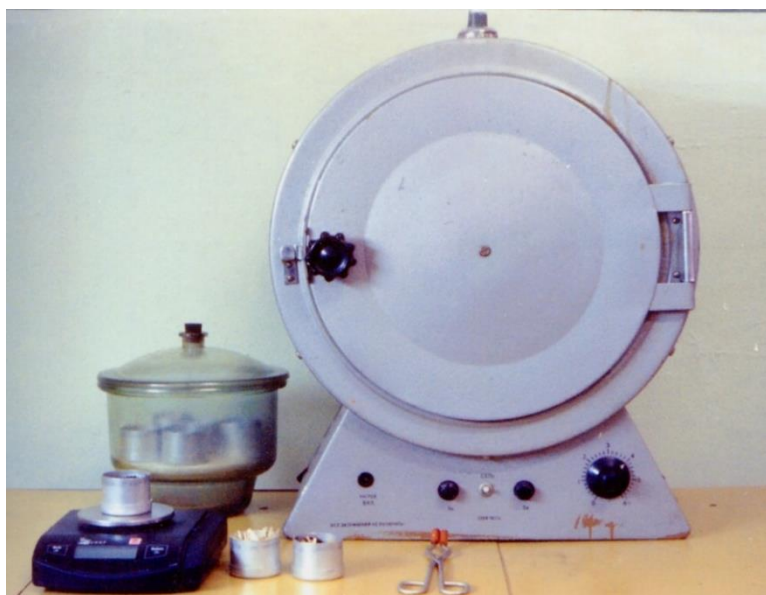


Рисунок 3.9 - Оборудование для определения влажности и плотности почвы

### **3.5 Выводы по главе**

1. На основании теоретических исследований разработан и изготовлен опытный образец навесной машины для удаления и погрузки почвы в теплицах.
2. Разработана методика экспериментальных исследований навесной машины для удаления и погрузки почвы в теплицах.
3. Определена методика исследования физико-механических свойств тепличных почв.

## 4 РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Экспериментальные исследования установленных факторов, влияющих на эффективность работы машины для удаления почвы из теплиц (Рисунок 4.1) проводились по программе, изложенной в главе 3. Предусматривалось исследование и контроль физико-механических свойств удаляемой из теплиц почвы и проведение двухфакторных экспериментов. В результате экспериментов получены зависимости показателей эффективности работы машины: усилия  $F$  (Н) на перемещение машины (тягового усилия), мощности, необходимой для привода  $P$  (Вт), производительности  $Q$  (кг/с), энергоемкости процесса  $E$  (Дж/кг).



Рисунок 4.1 – Экспериментальный образец навесной машины по удалению и погрузке почвы из теплиц

### 4.1 Физико-механические свойства санитарного слоя почвы

Физико-механические свойства тепличной почвы являются важнейшей характеристикой. Этим свойствам отводят первостепенное значение при решении

многочисленных энергетических проблем, связанных с обработкой почвы. Тепличные почвы должны быть рыхлыми, хорошо аэрируемыми, влагоёмкими, обладать повышенной ёмкостью катионного обмена, способностью противостоять развитию возбудителей болезней и вредителей. Высокая интенсивность использования тепличных почв приводит к ухудшению их свойств. С годами почвы в теплицах становятся слишком плотным, теряют питательные свойства, воздухопроницаемость, а большие дозы органических удобрений и азота вызывают накопление нитратов как в грунтах, так и в урожае.

Результаты исследований физико-механических свойств тепличной почвы при удалении санитарного слоя представлены в таблице 4.1.

Таблица 4.1. Физико-механические свойства тепличной почвы

Характеристика, ед. измерения	Компоненты			
	Рыхлые	Нормальные	Уплотненные	Сильно уплотненные
Плотность, т/м <sup>3</sup>	0,2 – 0,4	0,4 – 0,7	0,7 – 1,2	1,2 – 1,5
Коэффициент внутреннего трения	0,47 – 0,65	0,65 – 0,8	0,8 – 1,0	0,95 – 1,1
Коэффициент трения по стали	0,62 – 0,66	0,65 – 0,7	0,74 – 0,8	0,75 – 0,85
Сопротивление сжатию, МПа	0,005 – 0,009	0,008 – 0,01	0,01 – 0,05	0,09 – 0,15
Сопротивление резанию, МПа	0,01 – 0,04	0,04 – 0,09	0,08 – 0,12	0,1 – 0,15

Физико-механические свойства определяют качество выемки тепличной почвы и характер ее деформации при работе сельскохозяйственных агрегатов, износ отдельных частей орудий обработки, соприкасающихся с почвой, и коэффициент их полезного действия. По этой причине оценка этих свойств

необходима для конструирования навесной машины для удаления и погрузки почвы в теплицах.

#### **4.2 Экспериментальное исследование влияния высоты удаляемого слоя почвы и поступательной скорости машины на тяговое сопротивление**

Особенности работы машины связаны с процессом удаления слоя почвы, который происходит за счет напорного воздействия основного рабочего органа – отвала при поступательном движении. Поэтому основным силовым параметром является тяговое сопротивление движению машины с трактором.

Исследования влияния на тяговое сопротивление  $F$  движению машины высоты удаляемого слоя почвы и скорости перемещения машины с трактором позволили получить вероятностно-статистические уравнения, описывающие полученные результаты. Уравнение регрессии, описывающее данную зависимость, имеет вид:

$$F = 9855,697 - 54909,7 \cdot v - 46,396 \cdot h + 1,52 \cdot 10^5 \cdot v^2 - 52,563 \cdot v \cdot h + 0,316 \cdot h^2 \quad (4.1)$$

На рисунке 4.2 графически представлена полученная зависимость усилия необходимого для перемещения машины при удалении санитарного слоя от вышеуказанных факторов.

Анализ уравнения (4.1) и соответствующей ему трехмерной графической зависимости (рисунок 4.2) показывает наличие области минимальных значений усилия  $F$  по обоим исследуемым факторам [102].

Для определения рациональных значений исследуемых факторов проведем анализ данной зависимости. В исследуемом диапазоне полученная зависимость усилия машины от скорости  $v$  имеет квадратичный характер. Сечения графической зависимости (Рисунок 4.2) параллельные осям « $OF$ » и « $Oh$ » имеют форму парабол с точкой соответствующей минимуму функции. Значимыми являются

квадратичные члены в уравнении (4.1.) Таким образом, с ростом поступательной скорости движения машины усилие, необходимое для перемещения машины вначале снижается. Данное снижение происходит до поступательной скорости машины в диапазоне 0,22 - 0,25 (м/с). При данных значениях наблюдается минимум усилия. Так же установлено возрастание  $F$  (Н) при увеличении поступательной скорости свыше указанного диапазона. Полученная закономерность связана с характером отделения части почвы отвалом. Почва, обладая достаточно высокой влажностью, частично прилипает к поверхности отвала при малой поступательной скорости машины (Рисунок 4.3).

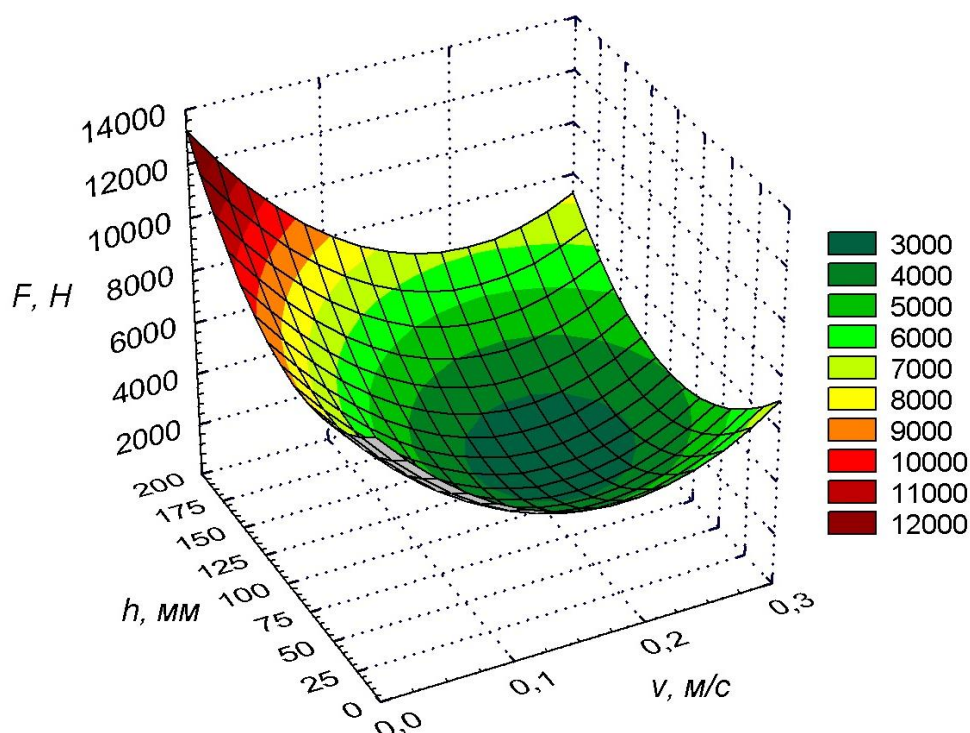


Рисунок 4.2 - Зависимость усилия  $F$  необходимого для перемещения машины при удалении почвы в теплице от высоты слоя  $h$  (мм) и скорости перемещения  $v$  (м/с)

Налипшие комки мешают движению частей по рабочим поверхностям, образуя повышенное сопротивление отделению. С увеличением скорости движения машины рабочие поверхности самоочищаются от частиц почвы. Частицы движутся по поверхности отвала без налипания, благодаря чему, сопротивления отделению отделяемого слоя от поверхности пола снижается. Это

обуславливает снижение усилия необходимого для перемещения машины. Однако возрастание скорости движения машины свыше 0,22 - 0,25 (м/с) усилие, необходимое для перемещения машины вновь возрастает. Такое явление обусловлено увеличением заполнения поверхностей отвала отделяемой почвой. Часть почвы не успевает попасть на отгрузочный транспортер и создает дополнительное сопротивление.



Рисунок 4.3 – Взаимодействие отвала с почвенным слоем

Экспериментальное исследование влияния высоты удаляемого слоя почвы позволило установить нелинейный характер изменения усилия, необходимого для перемещения машины. Очевидно, что при высоте слоя равной или близкой к нулю усилие для перемещения будет равно величине холостого хода машины. Поэтому до значения высоты удаляемого слоя 40-60 мм усилие практически не меняется, а квадратичная зависимость (4.1) показывает небольшое снижение. Данное обстоятельство связано с особенностями обработки полученных результатов. значительное возрастание усилия происходит при высоте более 70 мм. Согласно полученным результатам, при высоте удаляемого слоя 100 мм и скорости машины 0,17 м/с усилие для перемещения равно 2896 Н, а при высоте слоя 140 мм



соответственно 3370 Н. Дальнейшее увеличение высоты удаляемого слоя вызывает необходимость более интенсивного роста необходимого усилия. Полученная зависимость объясняется тем, что при высоте слоя до 40-60 мм отделение слоя почвы требует усилия, значительно меньшего по сравнению с усилием для перемещения машины с трактором на холостом ходу. С увеличением высоты удаляемого слоя более 80 мм сопротивление отделяемой и удаляемой почвы значительно возрастает. Этим объясняется значительный рост требуемого усилия на рисунке 4.2. Аналитическое решение уравнения (4.4) позволяет определить границы оптимальных значений (рисунок 4.4). Оптимальные значения исследуемых параметров, при которых усилие для перемещения машины имеет минимальное значение, составляют: скорость перемещения 0,18 - 0,22 м/с; высота снимаемого слоя почвы 90 – 120 мм.

Статистические данные экспериментов и результаты проверки адекватности уравнений экспериментальным данным проводились по критерию Фишера (Приложение А).

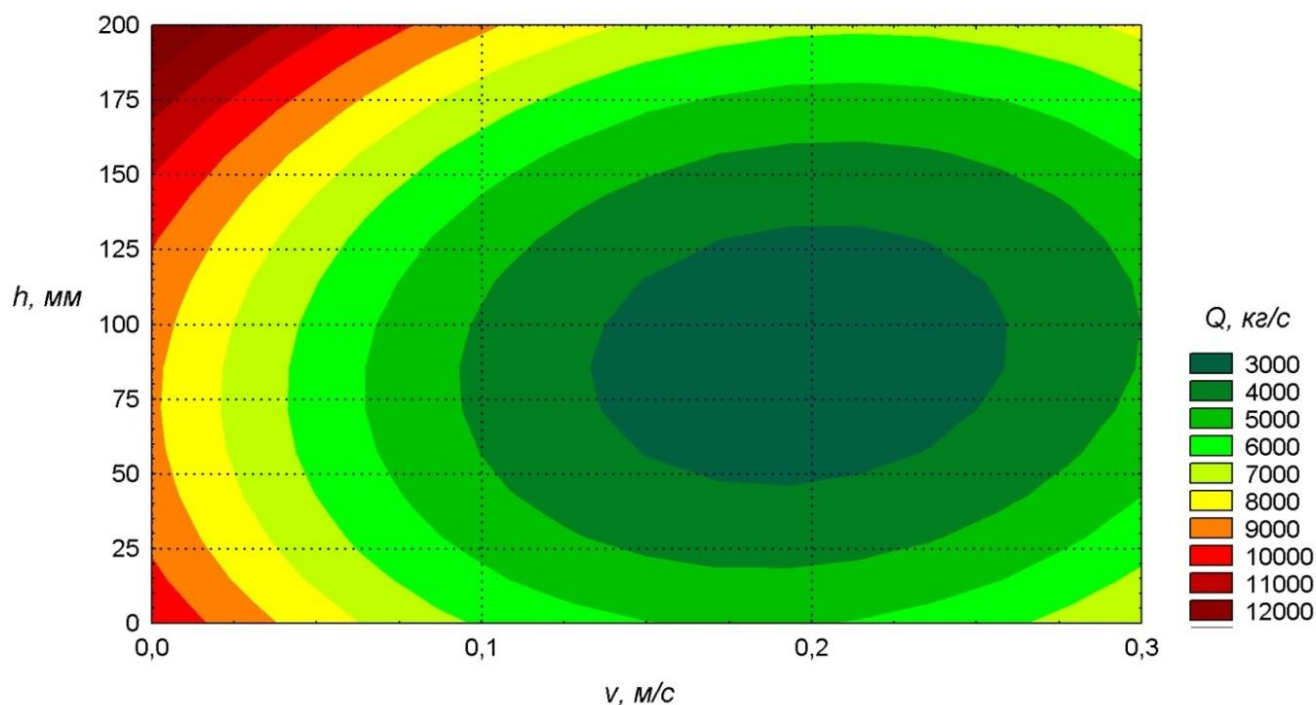


Рисунок 4.4 - Оптимальные значения скорости перемещения и высоты снимаемого слоя почвы по усилию перемещения

### **4.3 Исследование влияния высоты удаляемого слоя почвы и поступательной скорости машины на мощность, необходимую для привода**

Более интегрированной силовой характеристикой работы машины является мощность, необходимая для ее привода. Поскольку машина в рабочем процессе имеет поступательное движение, то в общем случае мощность для привода будет равна произведению усилия для перемещения и поступательной скорости. В результате получены экспериментальные данные, при статистической обработке которых построена вероятностно - статистическая модель (4.2) отражающая влияние высоты удаляемого слоя почвы и поступательной скорости на мощность, необходимую для привода машины [103] .

$$P = 6443,37 - 479,61 \cdot v - 84,651 \cdot h + 17413,2 \cdot v^2 + 162,321 \cdot v \cdot h + 0,377 \cdot h^2 , \quad (4.2)$$

Графически данная вероятностно - статистическая модель представлена в виде пространственного криволинейного сектора на рисунке 4.5. Зависимость второго порядка, поскольку квадратичные члены являются значимыми.

Анализ полученной вероятностно-статистической модели и ее графической интерпретации показывает, что мощность, необходимая для привода машины, начинает возрастать с увеличением высоты удаляемого слоя более 40-60 мм. До этих значений высоты мощность для привода практически неизменна и близка к мощности привода на холостом ходу. При  $h$  более 70 мм зависимость начинает существенно возрастать (рис. 4.5). Так, например, при  $h = 60$  мм и скорости 0,11 м/с мощность составляет 4043 Вт. А при  $h = 140$  мм и  $h = 180$  мм составляет соответственно 4637 и 7018 Вт. Изменение мощности от поступательной скорости происходит практически прямо пропорционально. Увеличение скорости с 0,11 до 0,17 м/с (при высоте удаляемого слоя почвы 100 мм) приводит к росту мощности с 3983 до 4923 Вт, т.е. на 23,6 %.

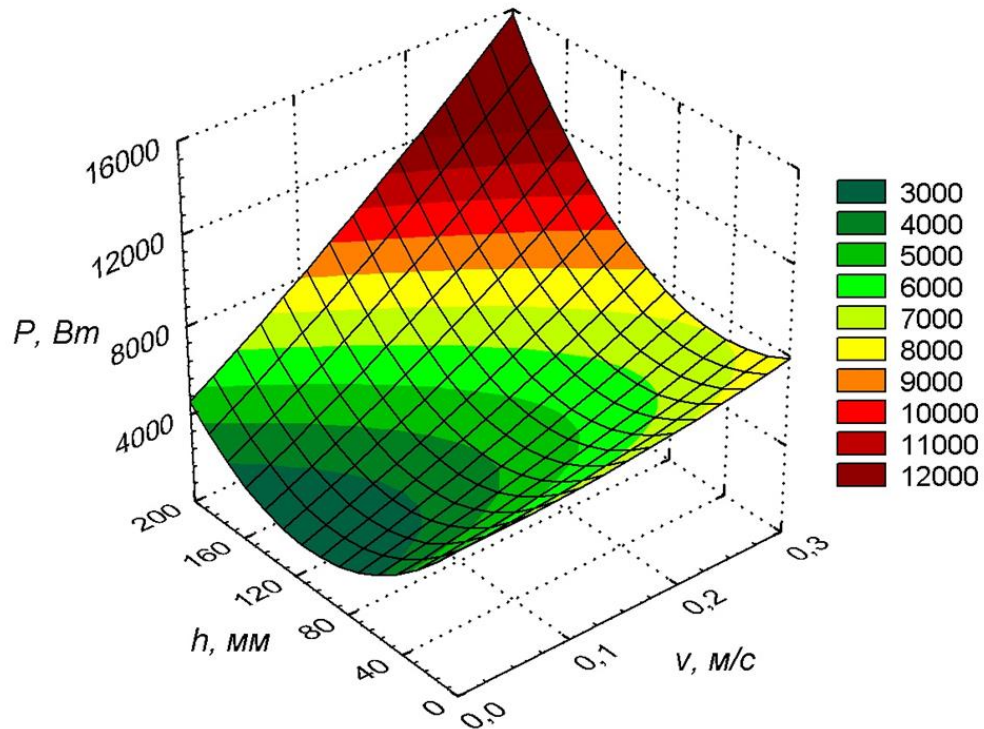


Рисунок 4.5 – Экспериментальная зависимость мощности, необходимой для привода машины от высоты слоя  $h$  (мм) и скорости перемещения  $v$  (м/с)

При других значениях высоты слоя  $h$  (мм) и скорости перемещения  $v$  (м/с) изменение критерия оптимизации происходит подобно выше описанному. При возрастании обоих исследуемых факторов масса, отделяемая рабочими органами, также возрастает, что увеличивает мощность для выполнения рабочего процесса. Если влияние поступательной скорости практически пропорциональное, то от высоты слоя мощность для привода изменяется по квадратичной зависимости. При высоте слоя от 0 до 40-60 мм мощность возрастает незначительно и практически равна мощности холостого хода, то при высоте удаляемой почвы более 60 – 80 мм существенно возрастает. Вероятно - статистическая модель и ее решение показывает наличие области минимальных значений, однако при малой мощности имеет место и малая производительность. С увеличением исследуемых параметров необходимая приводная мощность возрастает. Поэтому важным критерием для исследований является производительность машины.

#### 4.4 Влияния высоты слоя почвы и поступательной скорости машины на производительность удаления и погрузки почвы

Производительность показывает массу почвенного слоя, отделенного и отгруженного машиной в единицу времени. В эксперименте замерялась масса почвы и время ее отгрузки. Исследовалось влияние высоты слоя почвы и поступательной скорости машины. Методика исследований представлена в третьей главе. В результате обработки экспериментальных данных получено уравнение (4.3) и соответствующая графическая зависимость (Рисунок 4.6).

$$Q = 0,052 + 35,068 \cdot v + 0,01 \cdot h - 108,854 \cdot v^2 + 0,26 \cdot v \cdot h + 5,195 \cdot 10^{-5} \cdot h^2, \quad (4.3)$$

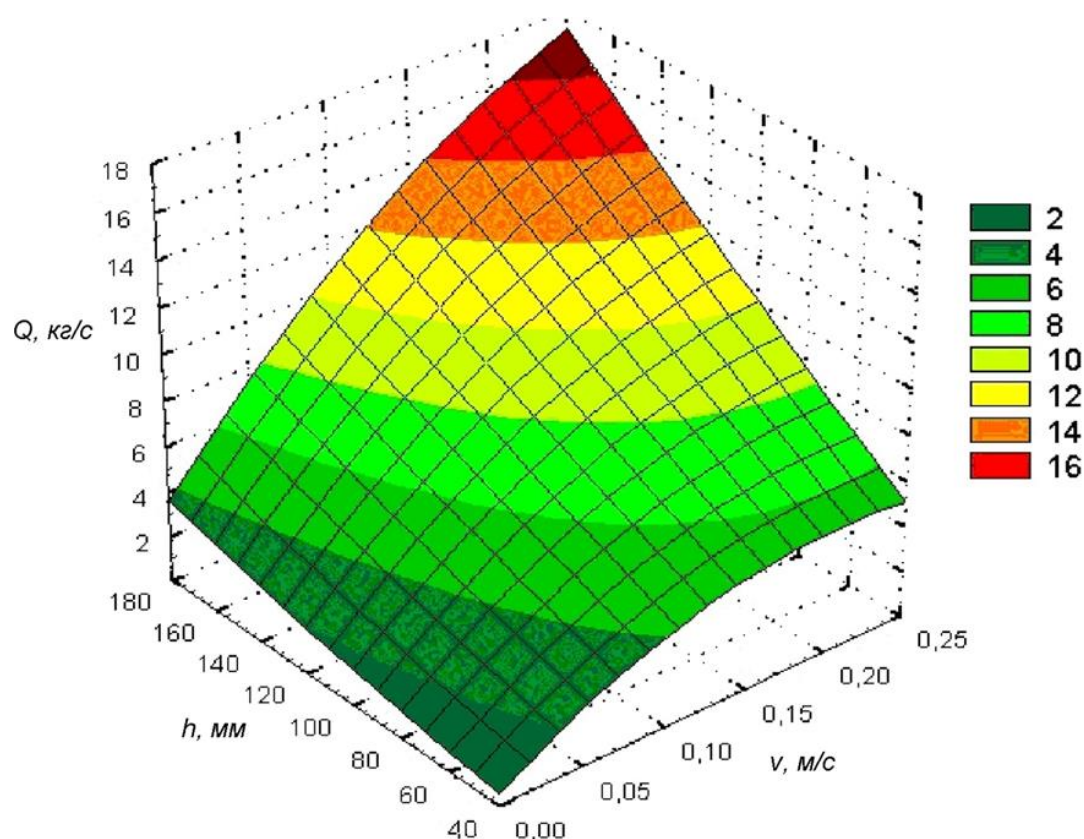


Рисунок 4.6 – Влияние высоты слоя почвы и поступательной скорости на производительности машины для удаления почвы

Полученное уравнение и графическая зависимость позволяют сделать вывод, что с увеличением высоты слоя производительность возрастает практически прямо пропорционально. При одной и той же поступательной скорости увеличение высоты слоя приводит к пропорциональному увеличению захватываемого объема почвы, а, следовательно, и массы почвы. Например, по экспериментальным исследованиям, увеличение удаляемого слоя с 80 мм до 120 мм позволяет увеличить производительность с 7,6 до 9,5 кг/с (при скорости машины 0,11 м/с). Такой процесс увеличения производительности наблюдается при всех значениях поступательной скорости машины. Так, при  $v = 0,23$  м/с увеличение высоты слоя почвы со 100 до 140 мм позволяет увеличить производительность с 13,0 до 16,4 кг/с, что указывает на прямо пропорциональное влияние.

Графическая зависимость (Рисунок 4.6), а также анализ уравнения (4.3) показывает нелинейную зависимость производительности от поступательной скорости. Данное обстоятельство связано с тем, что с одной стороны при заданной высоте слоя производительность машины не может быть выше производительности подачи. С другой стороны, ограничена производительность отгрузочного транспортера. Не вся поступающая масса почвы успевает попасть на отгрузочный транспортер и смещается обратно к основному слою. Например, рост  $v$  с 0,17 до 0,23 м/с позволяет увеличить производительность с 9 до 10,3 кг/с, (высота слоя почвы 100 мм); а при высоте слоя 180 мм позволяет увеличить производительность с 14,7 до 16,4 кг/с. Аналогичные зависимости имеют место и при других высотах удаляемого слоя почвы. Уравнение (4.3) адекватно описывает полученные экспериментальные результаты. Адекватность экспериментальным данным проверялась по критерию Фишера (Приложение А). В проведенных экспериментальных исследованиях наибольшая производительность (16,4 кг/с) получена при наибольших значениях высоты слоя почвы и поступательной скорости машины. Однако, согласно рисунка 4.5, в этом случае установлена максимальная мощность на привод машины. Поэтому необходимы дальнейшие исследования интегрального критерия, которым является энергоемкость процесса.

#### 4.5 Экспериментальное исследование влияния высоты слоя почвы и поступательной скорости машины на энергоёмкость удаления и погрузки

Энергоёмкость — это затраты энергии на выполнение процесса в единицу времени. Численно она равна отношению мощности, необходимой для выполнения рабочего процесса к производительности. По полученным таким образом данным для энергоёмкости процесса удаления необходимого слоя почвы построена вероятностно-статистическая модель (4.4), которая графически представлена на рисунке 4.7.

$$E = 1648,127 - 2786,11 \cdot v - 14,116 \cdot h + 8923,61 \cdot v^2 + 2,625 \cdot v \cdot h + 0,051 \cdot h^2, \quad (4.4)$$

Влияние обоих исследуемых параметров на энергоёмкость имеет сложный характер. С заданной достоверностью описывается уравнением второго порядка. Адекватность описания оценивалась по критерию Фишера (Приложение А).

Первоначально при малых значениях поступательной скорости машины (менее 0,05 м/с) энергоёмкость процесса высокая. Такое обстоятельство связано с низкой производительностью машины при указанных значениях скорости. При этом мощность для привода, несмотря на малую производительность, за счет мощности холостого хода имеет достаточно высокое значение, что и обуславливает рост энергоёмкости. С увеличением поступательной скорости от 0,05 (м/с) производительность интенсивно возрастает (Рисунок 4.6), при этом мощность возрастает незначительно (Рисунок 4.5). Соответственно, энергоёмкость снижается. Однако, при значительном увеличении скорости (более 0,14 м/с) характер изменения энергоёмкости изменяется. В связи с тем, что при больших скоростях мощность, необходимая для привода резко возрастает (Рисунок 4.5), происходит существенное увеличение энергоёмкости.

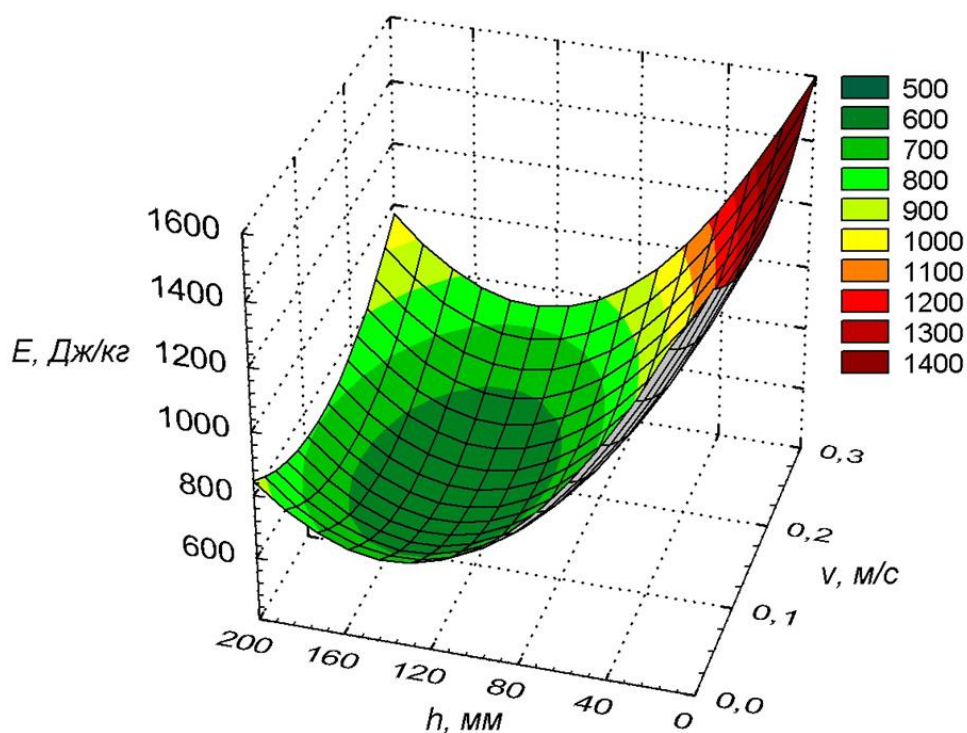


Рисунок 4.7 - Графическая зависимость энергоёмкости для удаления почвы от высоты слоя почвы и поступательной скорости

Например, при  $v = 0,18$  м/с энергоёмкость процесса составляет 596 Дж/кг (высота слоя почвы 180 мм). Увеличение  $v$  до 0,24 м/с приводит к росту энергоёмкость процесса до 688 Дж/кг. Изменение высоты удаляемого слоя не меняет характер зависимости энергоёмкости, который адекватно описывается уравнением второго порядка 4.4. При высоте слоя почвы до 60 мм энергоёмкость имеет высокое значение, поскольку производительность мала, а в свою очередь затраты мощности с учетом холостого хода машины, высокие. Например, при скорости движения машины 0,11 м/с и указанной высоте слоя энергоёмкость составляет 825 Дж/кг. С увеличением высоты удаляемого слоя более 60 мм при той же скорости энергоёмкость снижается, однако при больших значениях  $h$  (более 160 мм) вновь начинает возрастать. Так при высоте слоя  $h = 100$  мм энергоёмкость  $E = 561$  Дж/кг, а при  $h = 180$  мм  $E = 605$  Дж/кг. Анализ полученных результатов показывает, что имеются значения исследуемых факторов, при которых энергоёмкость удаления и погрузки слоя почвы минимальна. Математический

анализ выражения (4.4) позволяет найти область значений параметров, при которых энергоёмкость минимальна (рисунок 4.8).

Область значений, соответствующая минимальной энергоёмкости, расположена практически в центре плана эксперимента, между величиной скорости движения машины  $0,13 - 0,17$  (м/с) и высоты удаляемого слоя почвы  $0,125 - 0,145$  (м). Данные значения поступательной скорости машины и высоты удаляемого слоя почвы, являются рациональными по энергоёмкости значения при удалении почвенного слоя из теплиц; их изменение приводит к росту энергоёмкости. Такой характер изменения энергоёмкости обусловлен взаимодействием производительности и приводной мощности.

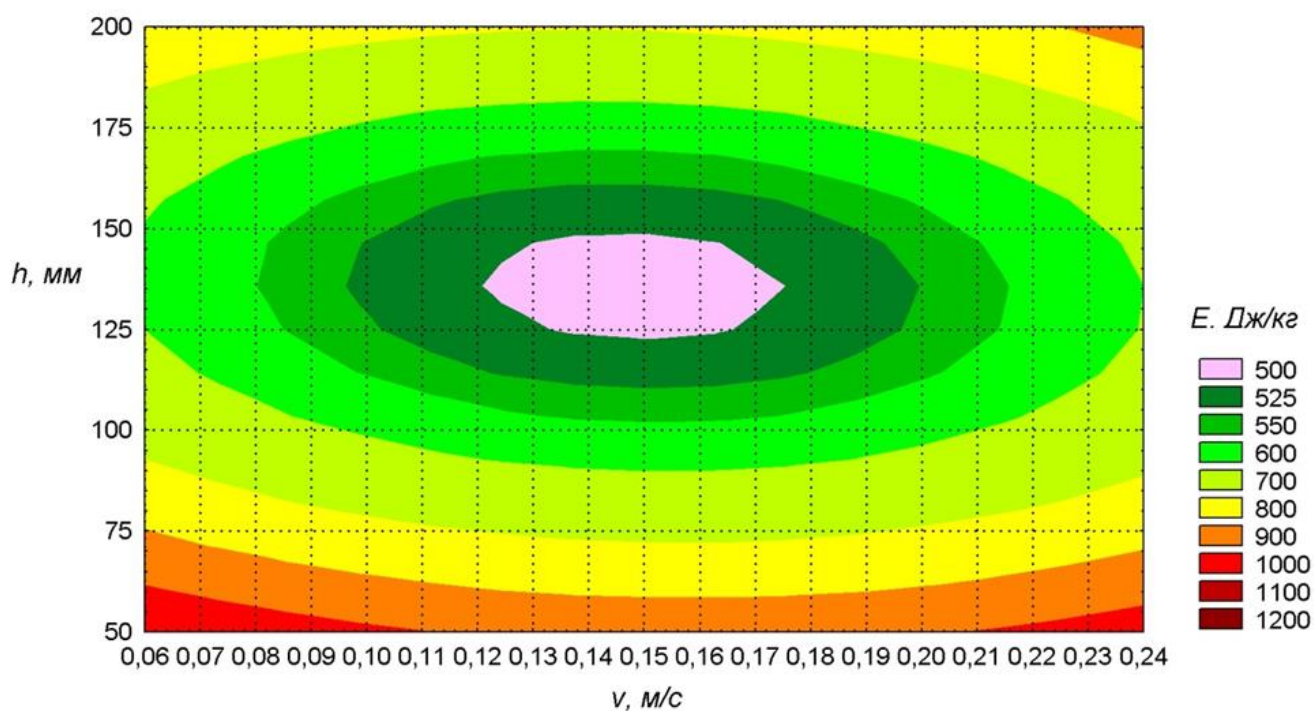


Рисунок 4.8 – Область значений скорости перемещения и высоты слоя почвы, соответствующая минимальной энергоёмкости

#### 4.6 Влияние поступательной скорости машины и угла наклона поверхности ковша на усилие перемещения машины

Факторами во второй части экспериментальных исследований выступали поступательная скорость машины и угол наклона поверхности ковша. Угол



наклона поверхности ковша является определяющим конструктивным параметром, влияющим на все силовые и качественные критерии оптимизации. Проведенные экспериментальные исследования по исследованию влияния указанных факторов на усилие, необходимое для перемещения машины, позволили получить вероятностно-статистическое уравнение (4.5) и графическую зависимость, описывающую полученные результаты. Графическая интерпретация уравнения (4.5) представлена на рисунке 4.9.

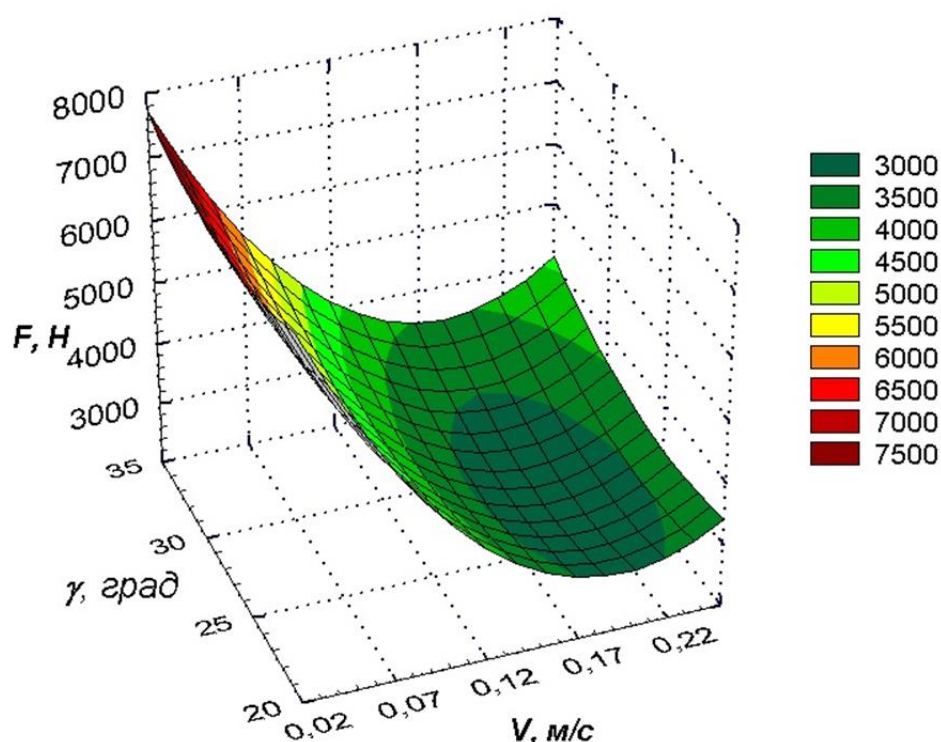


Рисунок 4.9 – Графическая зависимость, отражающая изменение усилия для перемещения машины при работе от угла наклона поверхности ковша  $\gamma$  (град) и скорости перемещения  $v$  (м/с)

Вероятностно-статистическое уравнение, описывающее результаты эксперимента, имеет вид:

$$F = 14507,7 - 65712,35 \cdot v - 439,168 \cdot \gamma + 1,59 \cdot 10^5 \cdot v^2 + 204,5 \cdot v \cdot \gamma + 7,907 \cdot \gamma^2, \quad (4.5)$$

Анализ вероятностно-статистического уравнения и соответствующей ему графической интерпретации (рисунок 4.9) показывает, что существуют значения

исследуемых факторов, при которых усилие для перемещения машины принимает наименьшие значения.

Аналитическое решение уравнения (4.5) показывает, что точка минимума при  $\gamma = 25^\circ$  будет равна [102]:

$$\begin{aligned}
 F &= 14507,7 - 65712,35 \cdot v - 439,168 \cdot 25 + 1,59 \cdot 10^5 \cdot v^2 + \\
 &\quad + 204,5 \cdot v \cdot 25 + 7,907 \cdot 25^2, \\
 F' &= -65712,35 + 3,18 \cdot 10^5 \cdot v + 5112,5 \cdot v, \\
 F' &= -65712,35 + 323112,5 \cdot v
 \end{aligned} \tag{4.6}$$

Минимум усилия для перемещения машины будет достигаться при скорости 0,2034 м/с. Аналогично можно определить, при каком значении угла наклона поверхности ковша  $\gamma$ , значение усилия будет минимальным.

Точка минимума при  $v = 0,2034$  м/с:

$$\begin{aligned}
 F &= 14507,7 - 65712,35 \cdot 0,2034 - 439,168 \cdot \gamma + 1,59 \cdot 10^5 \cdot 0,2034^2 + \\
 &\quad + 204,5 \cdot 0,2034 \cdot \gamma + 7,907 \cdot \gamma^2, \\
 F' &= -397,57 + 15,814 \cdot \gamma
 \end{aligned} \tag{4.7}$$

Минимум уравнения 4.5 имеет место при угле  $25,14^\circ$ . Таким образом, область минимальных значений необходимого тягового усилия расположена (Рисунок 4.10) при следующих значениях исследуемых факторов. Угол наклона поверхности ковша 24...26 градусов, скорость перемещения машины 0,19...0,21 м/с. Изменение исследуемых факторов от указанных значений приводит к росту необходимого тягового усилия для перемещения машины.

При значениях поступательной скорости машины меньше ранее указанных значений часть почвы прилипает к поверхности ковша и отвала, создавая дополнительное сопротивление. Почва скапливается перед ковшом, что также увеличивает необходимое усилие для перемещения [102].

Снижение величины усилия, необходимого для перемещения машины при увеличении скорости движения машины, связано с уменьшением времени контакта

отделяемой почвы и рабочей поверхности ковша. Отсутствие налипших комков почвы снижает сопротивление внедрению рабочих поверхностей, улучшает процесс скольжения отделенного слоя по ковшу. В результате происходит уменьшение необходимого тягового усилия. Однако при дальнейшем увеличении скорости движения машины (0,2 - 0,23 (м/с)) вся почва не успевает попасть на отгрузочный транспортер. Комки частично скапливаются на поверхности ковша и отвала. Все это приводит к увеличению усилия, необходимого для перемещения машины.

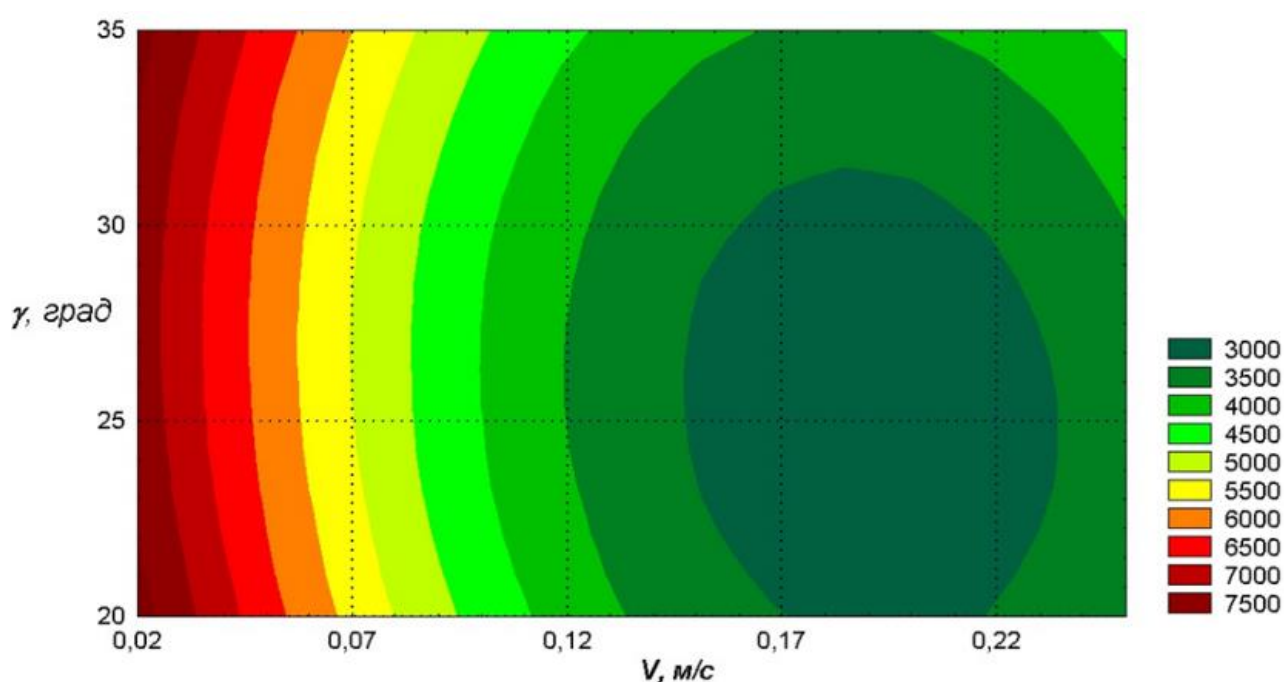


Рисунок 4.10 – Область оптимальных значений угла наклона поверхности ковша, и скорости перемещения по тяговому усилию для перемещения машины

Влияние угла наклона поверхности ковша на усилие, необходимое для перемещения машины также имеет нелинейный характер. Его влияние связано с изменением процесса взаимодействия рабочих поверхностей ковша со слоем почвы. Кривизна сечений поверхности отклика параллельных оси  $v$  не так велика, как для поступательной скорости. При угле наклона менее 24 градусов усилие практически не меняется. Полученное уравнение регрессии и графическая зависимость показывают некоторое увеличение  $F$ . Значительный рост усилия, необходимого для перемещения машины происходит при угле наклона более

26 градусов. Например, согласно опытным данным, при угле наклона ковша  $\gamma = 25$  градусов и скорости поступательного движения машины 0,17 м/с усилие составляет 2874 Н, а при угле наклона поверхности отвала  $\gamma = 30$  градусов усилие  $F = 2945$  Н. В тоже время увеличение угла до 35 градусов приводит к росту усилия до 3467 Н [102].

Такое изменение необходимого усилия для работы машины в процессе удаления слоя почвы обусловлено тем, что при угле наклона до 25 градусов увеличивается длина поверхности ковша. В этом случае также увеличивается длина скольжения отделенной почвы по поверхности ковша, что и приводит к некоторому возрастанию усилия для движения машины. При угле наклона более 26 градусов сопротивление внедрению ковша машины увеличивается, поскольку появляется эффект «бульдозера» - отделяемая почва начинает скапливаться перед ковшом. Тем больше угол наклона поверхности, тем большее количество почвы смещается обратно к бурту. При больших углах наклона почва значительной частью будет не попадать на транспортер, а сталкиваться отвалом по принципу, аналогичному работе бульдозера. Таким образом, существует оптимальный угол наклона поверхности ковша  $\gamma = 25,14^\circ$ , при котором обеспечивается эффективное удаление слоя почвы, а тяговое усилие для перемещения машины при этом имеет наименьшее значение [102].

#### **4.7 Экспериментальное исследование влияния поступательной скорости и угла наклона поверхности ковша на мощность необходимую для привода машины**

Полученные экспериментальные данные позволили установить влияние угла наклона поверхности ковша и скорости перемещения машины на мощность, необходимую для привода при удалении почвы из помещения теплиц. В результате обработки получены значения, по которым построено уравнение регрессии (4.6).

$$P = 5740,316 + 18869,3 \cdot v - 291,654 \cdot \gamma - 13732,64 \cdot v^2 +$$

$$+ 85,833 \cdot v \cdot \gamma + 5,438 \cdot \gamma^2, \quad (4.6)$$

Графически данное уравнение представлено в виде трехмерной поверхности на рисунке 4.11.

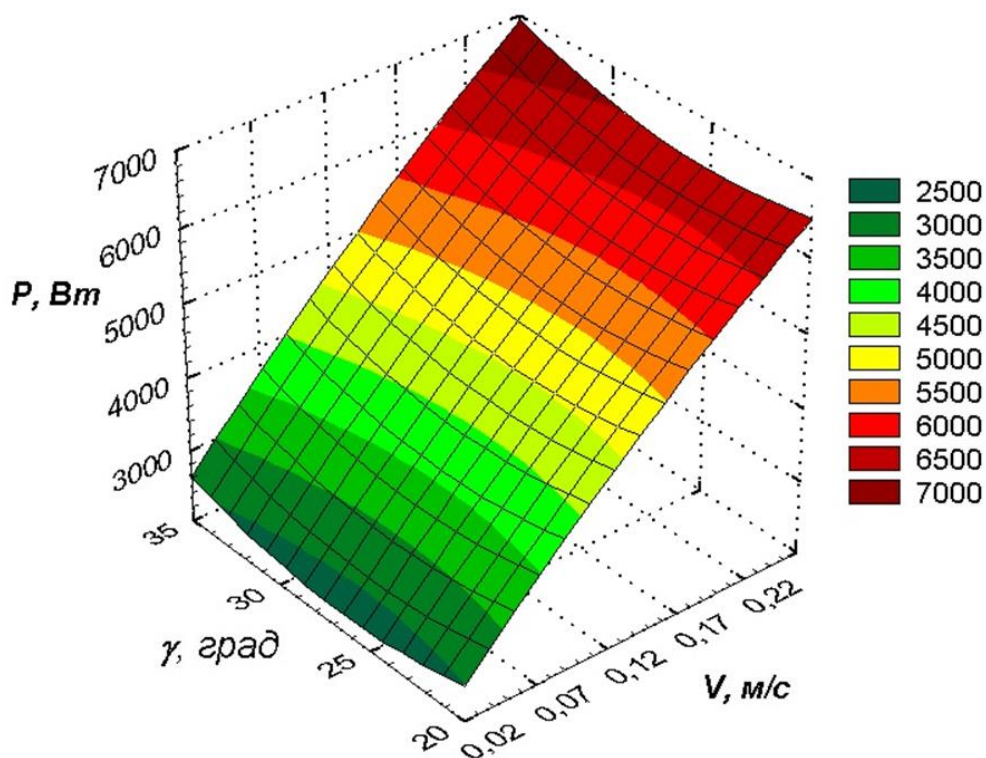


Рисунок 4.11 – Влияние угла наклона поверхности ковша  $\gamma$  (град) и скорости перемещения  $v$  машины (м/с) на мощность, затрачиваемую на перемещение машины

Как видно из рисунка 4.11 влияние на мощность привода машины поступательной скорости движения, носит характер близкий к пропорциональному характеру. Однако, в уравнении (4.6) коэффициент при квадратичном члене поступательной скорости является значимым, поэтому влияние скорости носит нелинейный характер. Влияние поступательной в направлении слоя почвы скорости связано с тем, что в этом случае возрастает отделяемый объём и соответственно перемещаемая масса почвы. Увеличение массы вызывает увеличение всех сил трения и суммарной силы. В результате необходимая мощность возрастает. Согласно экспериментальным данным увеличение скорости с 0,05 до 0,11 м/с приводит к росту мощности с 2801 до 4161 Вт (угол наклона

ковша 30 градусов); а увеличение скорости с 0,11 до 0,17 м/с при указанном угле наклона ковша приводит к росту мощности до 5007 Вт.

Анализ полученного уравнения и рисунок 4.11 показывает, что влияние угла наклона поверхности ковша на мощность привода машины имеет вид параболы, т.е. имеет место точка экстремума с минимальным значением. Наименьшее значение мощности необходима для работы машины соответствует  $\gamma = 26...28$  (град.). Графоаналитическое решение уравнения 4.6 позволяет найти область минимума функции (Рисунок 4.12). При меньших или больших углах наклона необходимая мощность возрастает.

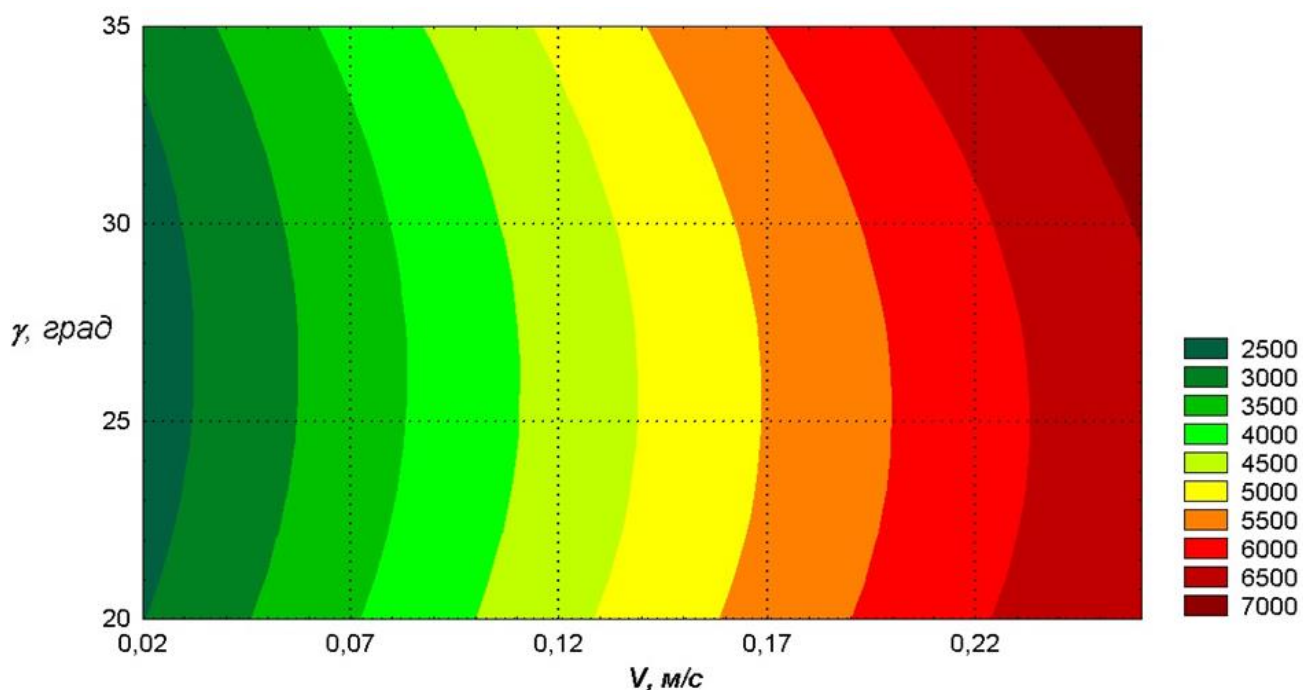


Рисунок 4.12 – Сечения графической зависимости мощности, затрачиваемой на перемещение машины от угла наклона поверхности ковша  $\gamma$  (град) и скорости перемещения  $v$  машины (м/с)

Изменение мощности от угла наклона определяется произведением усилия для перемещения машины на величину поступательной скорости. При углах менее 24 градусов возрастает усилие для перемещения машины, поскольку увеличивается путь перемещения отделенного слоя почвы по поверхности ковша. В то же время при углах больше указанных оптимальных значений происходит частичное

смещение комков почвы обратно и возникновение «эффекта бульдозера», что приводит к росту приводной мощности.

Согласно экспериментальным данным при угле  $\gamma = 20$  (град) приводная мощность составляет 4189 Вт (поступательная скорость машины 0,11 м/с). При угле наклона поверхности ковша  $\gamma = 25$  (град) приводная мощность составляет 4073 Вт, а при увеличении  $\gamma$  до 35 (град) приводная мощность 4690 Вт. Аналогично приводная мощность изменяется при других значениях поступательной скорости.

Усилие отделения и мощность относятся к силовым критериям оптимизации. Для экспериментального обоснования параметров машины необходимо исследование качественных критериев – производительности и энергоемкости.

#### **4.8 Изменение производительности удаления и погрузки почвы при различной поступательной скорости машины и углах наклона поверхности ковша**

Исследование влияния угла наклона поверхности ковша и поступательной скорости машины на производительность проводилось по двухфакторному эксперименту. В результате обработки эксперимента получено вероятностно-статистическое уравнение (4.7), графически представленное на рисунке 4.13.

$$Q = -8,175 + 71,25 \cdot v + 0,802 \cdot \gamma - 104,167 \cdot v^2 - 0,467 \cdot v \cdot \gamma - 0,016 \cdot \gamma^2 \quad (4.7)$$

Полученное вероятностно-статистическое уравнение и его графическое представление позволяют сделать вывод, что производительность возрастает с увеличением поступательной скорости и практически неизменна при малых углах и снижается при больших значениях углов наклона ковша. Зависимость от поступательной скорости является не линейной. Например, при угле наклона 25 (град.), возрастание  $v$  с 0,05 до 0,11 м/с приводит к увеличению производительности отделения и погрузки с 4,9 до 7,3 кг/с, т.е. в 1,5 раза.

Возрастание скорости с 0,11 до 0,17 м/с при том же угле наклона увеличивает производительность с 7,3 до 9,5 кг/с (в 1,3 раза). А возрастание скорости с 0,17 до 0,23 м/с увеличивает производительность с 9,5 до 10,6 кг/с (всего в 1,1 раза), что подтверждает нелинейный характер зависимости. Аналогично производительность изменяется при других значениях угла наклона поверхности ковша. С ростом поступательной скорости увеличивается объем почвы, поступающий к машине в единицу времени. Увеличение объема приводит к увеличению массы почвы для отгрузки. Данное изменение объясняется тем, что при высокой поступательной скорости машины в направлении слоя почвы велика подача последней к отгрузочному транспортеру, который не успевает отгрузить весь объем отделенной отвалом почвы. В результате рост производительности ограничивается отгрузочной способностью транспортера.

Зависимость от угла наклона поверхности ковша также является не линейной. Однако его влияние не столь выраженное относительно поступательной скорости. При этом уравнение 4.7 имеет место точку максимума по параметру  $\gamma$ . В исходный момент с увеличением угла наклона ковша производительность несколько возрастает. Возрастание происходит до наибольшего значения, соответствующего 27...29 (град.) наклона поверхности ковша. При большем угле наблюдается стабилизация величины производительности и далее некоторое снижение. Например, изменение  $\gamma$  с 20 до 25 (град.) позволяет увеличить производительность с 7,1 до 7,3 кг/с ( $v$  поступательного движения ковша 0,11 м/с). В процентном соотношении рост составляет 2,8 (%). В тоже время увеличение наклона рабочей поверхности ковша с 30 до 35 градусов (при той же скорости поступательного движения ковша) приводит к снижению производительности с 6,8 до 5,9 (кг/с), в процентном соотношении на 13,2 (%).

Адекватность уравнения (4.7) экспериментальным данным проверялась по критерию Фишера (Приложение Б).



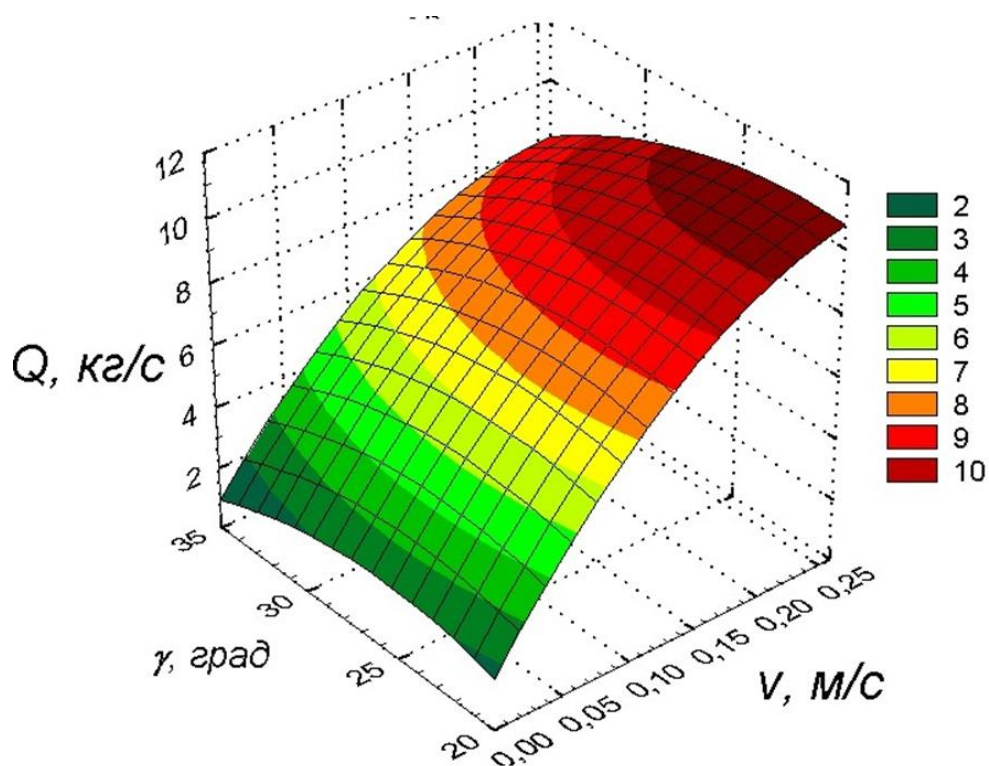


Рисунок 4.13 - Влияние поступательной скорости машины  
и угла наклона поверхности ковша  
на производительность удаления и погрузки почвы

Нелинейный характер зависимости производительности от угла наклона поверхности ковша обусловлен тем, что при больших углах часть почвы смещается ковшом обратно к основному слою. Чем больше угол наклона, тем большая масса почвы смещается обратно в борт. При больших углах работа машины подобна работе бульдозерного отвала.

Анализ поверхности отклика двумерными сечениями (Рисунок 4.14) показывает отсутствие области оптимума. Однако, можно сделать вывод, что максимальная производительность 16,4 кг/с получена при наибольшем значении поступательной скорости и угле наклона  $\gamma = 22 \dots 24$  градуса. Производительность в системных исследованиях связана с необходимой приводной мощностью, что обуславливает необходимость исследования дифференциального качественного критерия эксперимента – энергоемкости процесса.

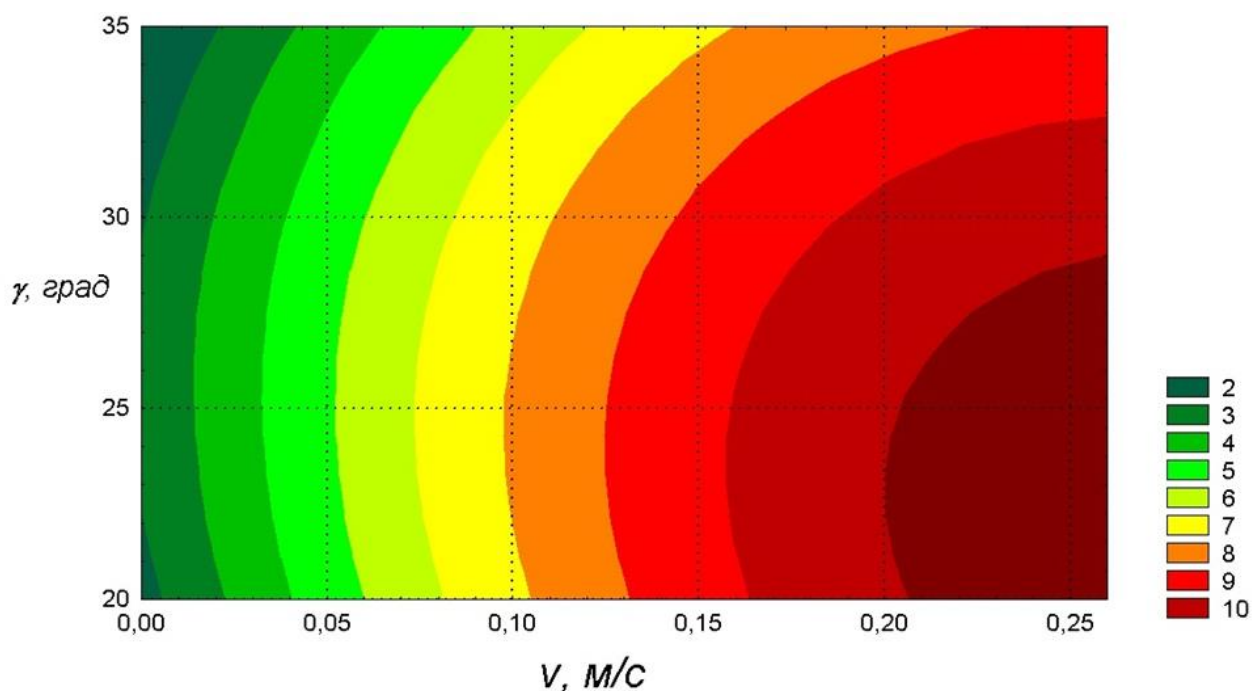


Рисунок 4.14 – Двумерные сечения поверхности отклика производительности от угла наклона поверхности ковша и поступательной скорости машины

#### 4.9 Влияние угла наклона поверхности ковша и поступательной скорости машины на энергоёмкость удаления и погрузки почвы

По методике, изложенной в третьем разделе, исследовано влияние угла наклона поверхности ковша и поступательной скорости машины на энергоёмкость работы машины. Энергоёмкость – отношение мощности привода машины к производительности. По полученным данным разработано вероятностно-статистическое уравнение (4.8) и соответствующая ему графическая зависимость (Рисунок 4.15).

$$E = 2107,39 - 2563,416 \cdot v - 114,021 \cdot \gamma + 8489,583 \cdot v^2 - 3,3 \cdot v \cdot \gamma + 2,342 \cdot \gamma^2 \quad (4.8)$$

Уравнение (4.8) адекватно описывает полученные экспериментальные данные, все коэффициенты являются статистически значимыми. Данное уравнение

и соответствующая ему графическая зависимость (Рисунок 4.15) показывает, что функция имеет экстремум по обоим исследуемым факторам.

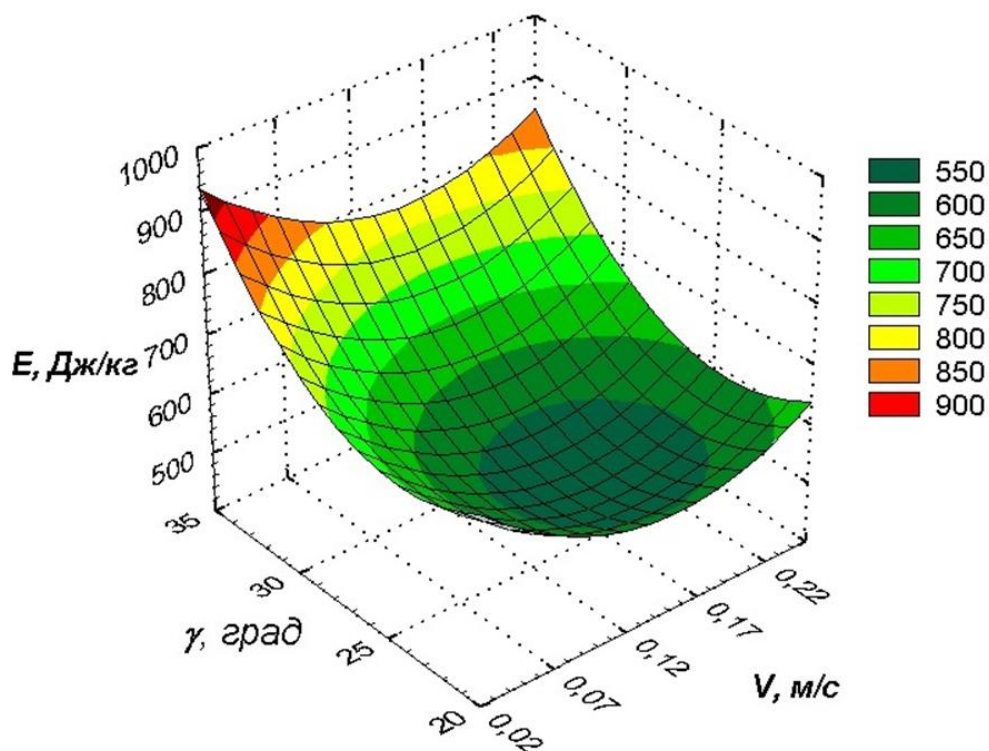


Рисунок 4.15 - Графическая зависимость энергоёмкости для удаления почвы от угла наклона поверхности ковша и поступательной скорости

Экстремум имеет минимальные значения для энергоёмкости. Математический анализ полученной функции позволяет определить значения исследуемых факторов, соответствующих области минимальной энергоёмкости.

Минимум энергоёмкости при скорости  $0,1557$  м/с:

$$E = 2107,39 - 2563,416 \cdot 0,1557 - 114,021 \cdot \gamma + 8489,583 \cdot 0,1557^2 - 3,3 \cdot 0,1557 \cdot \gamma + 2,342 \cdot \gamma^2$$

$$E = -114,021 \cdot \gamma - 3,3 \cdot 0,1557 \cdot \gamma + 2,342 \cdot \gamma^2$$

Первая производная:

$$E' = 4,684 \cdot \gamma - 114,021 + 3,3 \cdot 0,1557$$

$$E' = 4,684 \cdot \gamma - 113,51$$

Минимум функции достигается при угле  $24,234^\circ$

Минимум энергоёмкости при угле  $\gamma = 24,4^\circ$

$$E = 2107,39 - 2563,416 \cdot v - 114,021 \cdot 24,4 + 8489,583 \cdot v^2 - \\ \cdot 3,3 \cdot v \cdot 24,4 + 2,342 \cdot 24,4$$

Первая производная:

$$E' = 16979 \cdot v - 2563,416 - 80,52$$

Минимум энергоёмкости достигается при скорости  $0,1557$  м/с, что соответствует результатам первого двухфакторного эксперимента.

Графически область оптимальных значений показана на рисунке 4.16.

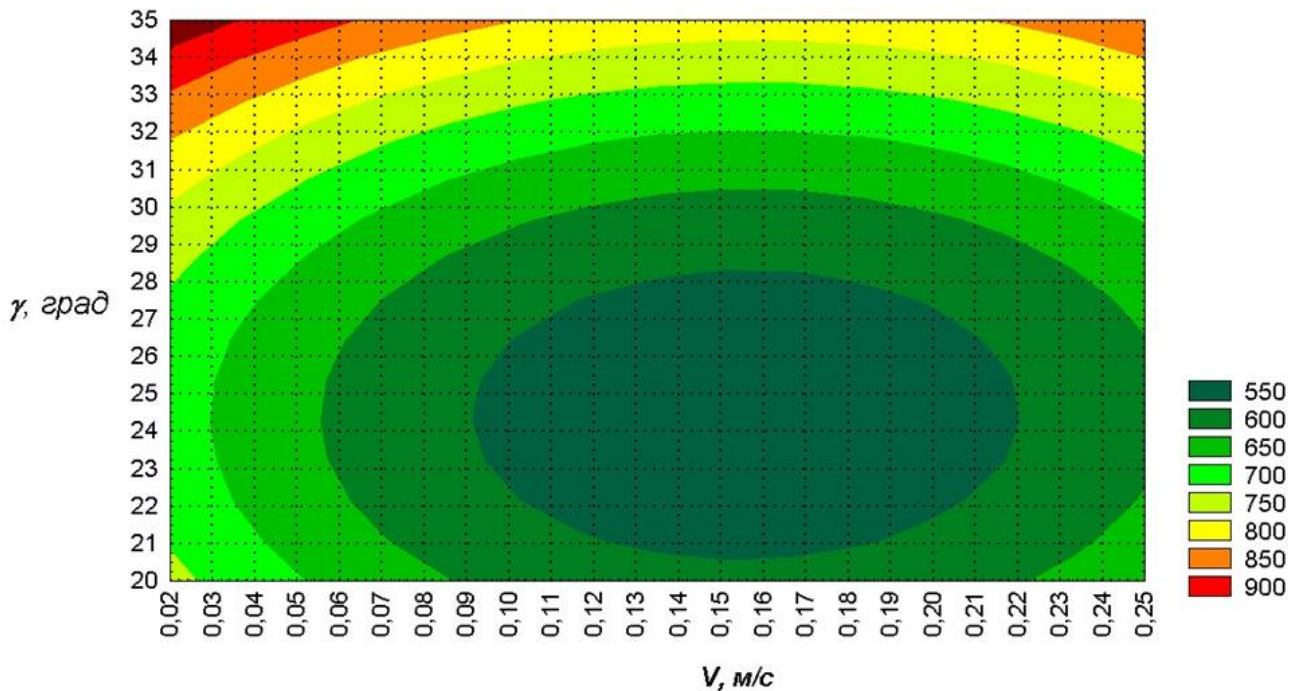


Рисунок 4.16 – Область оптимальных значений скорости перемещения и угла наклона поверхности ковша по энергоёмкости

Изменение, как поступательной скорости машины, так и угла наклона поверхности ковша от указанных величин приводит к увеличению энергоёмкости работы машины. Рациональные значения, при которых достигается наибольшая эффективность, составляют  $0,14 - 0,17$  м/с и  $23 - 26$  градусов.

Полученный характер изменения энергоёмкости определяется изменением от исследуемых параметров мощности (п. 4.7) и производительности (п. 4.8). Влияние поступательной скорости связано с неодинаковым характером изменения мощности и производительности при ее увеличении в исследуемом диапазоне. При значениях  $v$  менее 0,1 м/с производительность невелика, однако мощность на выполнение рабочего процесса снижается не значительно из-за мощности холостого хода, что обуславливает высокую энергоёмкость. Например, по данным эксперимента, при  $v = 0,11$  м/с, энергоёмкость составляет 558 Дж/кг; а при  $v = 0,05$  м/с энергоёмкость повышается до 608 Дж/кг. Повышение скорости движения машины увеличивает производительность при невысоком росте приводной мощности, что обуславливает снижение энергоёмкости и наличие области оптимума. Однако, при дальнейшем увеличении скорости, более 0,17 м/с, затраты мощности возрастают в большей степени, чем рост производительности, что так же обуславливает увеличение энергоёмкости. По данным эксперимента, при  $v = 0,17$  м/с, энергоёмкость составляет 518 Дж/кг; а при  $v = 0,23$  м/с энергоёмкость повышается до 572 Дж/кг. Очевидно, что дальнейшее увеличение рабочей скорости приведет к дальнейшему росту энергоёмкости.

Характер влияния различного угла наклона ковша на энергоёмкость также связан с взаимным изменением мощности (Рисунок 4.11) и производительности (Рисунок 4.13). При уменьшении угла наклона поверхности менее оптимальных значениях рост энергоёмкости обусловлен ростом мощности привода, которая растет за счет геометрического увеличения рабочей длины ковша. При этом увеличиваются сопротивления от скольжения отделенного слоя почвы. С увеличением угла затраты мощности несколько снижаются. Однако, при углах наклона более 27-30 градусов часть отделенной почвы не попадает на отгрузочный транспортер, а смещается обратно к основному слою, что снижает производительность машины. Чем больше угол наклона поверхности ковша, тем больший объем смещается обратно, тем больше снижение производительности. Мощность привода при этом так же возрастает. Например, по данным

эксперимента при  $\gamma = 26$  (град.) энергоёмкость процесса удаления  $E = 557$  Дж/кг; а  $\gamma = 21$  (град.) энергоёмкость равна 592 Дж/кг. При этом увеличение  $\gamma$  до 31 (град.) увеличивает энергоёмкость до 612 Дж/кг.

Таким образом, оптимальные по энергоёмкости значения: угла наклона поверхности ковша и поступательной скорости машины при удалении почвенного слоя составляют 23 – 26 (град.) и 0,14 – 0,17 (м/с).

Проведена оценка сходимости теоретических и экспериментальных зависимостей влияния высоты слоя почвы машины и угла наклона поверхности ковша на производительность удаления и погрузки почвы (рисунок 4.17). Расхождения не превышают 5 %.

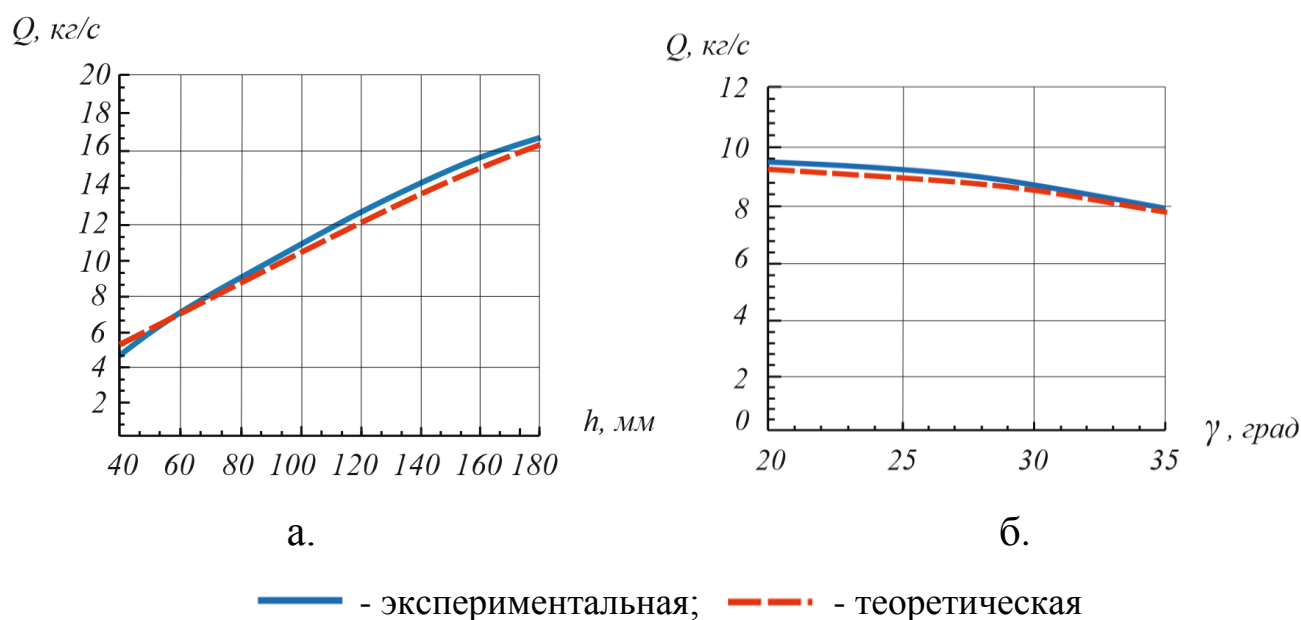


Рисунок 4.17 – Зависимость производительности машины:

а – от высоты слоя почвы машины; б - угла наклона поверхности ковша

На рисунке 4.18 представлены теоретическая и экспериментальная графические зависимости влияния высоты слоя почвы машины и угла наклона поверхности отвала на энергоёмкость процесса удаления и погрузки почвы. Расхождения не превышают 5 %.

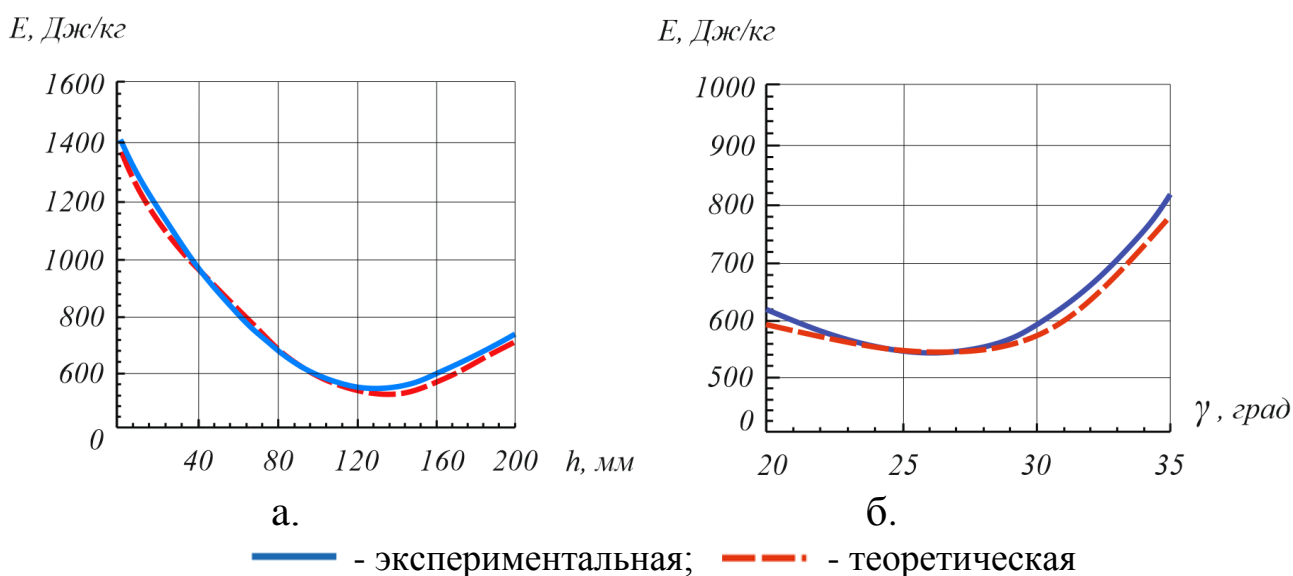


Рисунок 4.18 – Зависимость энергоёмкости процесса:

а – от высоты слоя почвы машины; б - угла наклона поверхности ковша

#### 4.10 Выводы по главе

1. Исследованы особенности физико-механических свойств почвы после использования в тепличном производстве. Плотность составляет  $0,7 - 1,2 \text{ кг/м}^3$ ; коэффициент внутреннего трения  $0,8 - 1,0$ ; коэффициент трения по стали  $0,74 - 0,8$ . Прочностных свойства удаляемой почвы - сопротивление сжатию  $0,01 - 0,05 \text{ МПа}$  и сопротивление резанию  $0,08 - 0,12 \text{ МПа}$ .

2. В результате экспериментальных исследований установлены зависимости усилия для перемещения машины в процессе работы, мощности привода, производительности и энергоёмкости от конструктивно-режимных параметров рабочих органов: скорости поступательного движения, высоты слоя удаляемой почвы, угла наклона поверхности отвала. Зависимости имеют нелинейный характер и описываются уравнениями второй степени.

3. Максимальная производительность работы машины  $16,4 \text{ кг/с}$  в исследуемом диапазоне параметров достигается при наибольших значениях высоты удаляемого слоя почвы  $h = 180 \text{ мм}$  и поступательной скорости машины  $v = 0,25 \text{ м/с}$ ; и при угле наклона рабочей поверхности ковша  $\gamma = 22...24$  градуса.

Максимальная требуемая приводная мощность наблюдается при максимальных значениях исследуемых параметров.

4. Аналитические решения полученных зависимостей позволили установить значения параметров, при которых достигается наибольшая эффективность с позиций энергоёмкости, процесса удаления слоя почвы из теплицы: поступательная скорость машины 0,14 – 0,17 (м/с), высота удаляемого слоя почвы 0,125 – 0,145 (м), угол наклона поверхности ковша 23 – 26 (град.).



## 5 ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ

### 5.1 Производственные испытания машины для удаления и погрузки тепличной почвы

Производственные испытания навесной машины для удаления и погрузки почвы в теплицах проводились в АО «Совхоз – Весна» Саратовской области. Задача производственных испытаний – подтвердить эффективность разработанной конструктивно-технологической схемы, подтвердить достоверность теоретических предпосылок, установить оптимальные режимы параметров опытного образца, определить технико-экономические показатели предлагаемой машины для удаления и погрузки санитарного слоя тепличного грунта.

Выемка санитарного слоя почвы после выращивания томатов проводилась в соответствии с методикой, описанной в главе 3. Разработанная навесная машина для одновременного удаления и погрузки почвы агрегатировали с трактором Т-70, отгрузка санитарного слоя осуществлялась в самоходное шасси ВТЗ-30СШ (рисунок 5.1). Изменения тягового усилия фиксировались тензометрическим измерительным комплексом МИГ-018.



Рисунок 5.1 – Производственные испытания навесной машины

Результаты производственных испытаний навесной машины для удаления и погрузки почвы в теплицах представлены в таблице 5.1.

Таблица 5.1 Параметры навесной машины для удаления почвы в теплицах

<b>Наименование параметра</b>	<b>Значение</b>
Ширина захвата рабочего органа, мм	1600
Ширина ленты отгрузочного транспортера, мм	1000
Угол наклона ковша, град.	25
Поступательная скорость, м/с	0,15 - 0,17
Эксплуатационная производительность, т/ч	59
Габаритные размеры машины, мм	
длина	2800
ширина	1600
высота	1900

## 5.2 Расчёт технико-экономической эффективности

Эффективность внедрения предлагаемой машины для удаления и погрузки санитарного слоя тепличной почвы подтверждается сравнением существующей технологии с предлагаемой по следующим технико-экономическим показателям:

1. производительность устройства;
2. трудоёмкость работы;
3. капитальные вложения;
4. себестоимость работ;
5. годовой экономический эффект;
6. срок окупаемости капитальных вложений.

Расчеты выполнены согласно методике [114, 115, 116] с учетом цен на январь 2022 года.

В настоящее время в тепличном хозяйстве используется следующий комплекс машин для удаления и погрузки почвы, состоящий из трактора Т-70 с

бульдозерной навеской, мини-погрузчика Bobcat S100 и двух самоходных шасси ВТЗ-30СШ для непрерывной работы. Часовая производительность комплекса машин составляет  $W_{ч1} = 28,3$  т/ч/.

При испытаниях использован комплекс машин: трактор Т-70 с разработанной навесной машиной для одновременного удаления и погрузки почвы и двух самоходных шасси ВТЗ-30СШ, при этом производительность составляет  $W_{ч2} = 59$  т/ч.

Первый комплекс машин будут обслуживать 4 оператора, а второй комплекс – 3 оператора.

Проведем сравнительный анализ для двух вариантов и определим годовую эффективность.

Затраты труда при использовании существующего комплекса машин составят:

$$T_p = \frac{Ч}{W_{ч}} = \frac{4}{28,3} = 0,14 \text{ чел - ч/т}$$

Затраты труда при использовании предлагаемого комплекса машин составят:

$$T_p = \frac{Ч}{W_{ч}} = \frac{3}{59} = 0,05 \text{ чел - ч/т}$$

Производительность существующего мини-погрузчика за 1 час сменного времени определим по формуле:

рассчитаем сменную производительность машины:

$$W_{см} = W_{ч} \cdot t_{см} \cdot K_T \cdot K_э, \text{ т/час}, \quad (5.1)$$

где  $W_{ч}$  – часовая техническая производительность машины, т/ч;

$t_{см}$  – нормативная продолжительность смены с учетом предвыходных дней, ч;

$K_T$  – коэффициент перехода от технической к эксплуатационной производительности;

$K_э$  – коэффициент перехода от эксплуатационной к сменной производительности.

$$W_{см1} = 28,3 \cdot 7,8 \cdot 0,6 \cdot 0,7 = 92,71 \text{ т/смен},$$

$$W_{см2} = 59,0 \cdot 7,8 \cdot 0,6 \cdot 0,7 = 193,28 \text{ т/смен}$$

Снижение затрат труда:

$$З'_T = \frac{З_{T1} - З_{T2}}{З_{T1}} \cdot 100\% = \frac{0,14 - 0,05}{0,14} \cdot 100\% = 64,3\% \quad (5.2)$$

С учетом того, что в год объем работ составляет около 12000 тонн, можно рассчитать количество машино-смен, необходимых по каждому машинно-тракторному агрегату, себестоимость каждой машино-смены по двум сравниваемым вариантам.

Количество часов работы для каждого варианта:

$$1 \text{ вариант} = 12000/28,3 = 424 \text{ часа,}$$

$$2 \text{ вариант} = 12000/59 = 203 \text{ часа.}$$

Количество машино-смен:

$$1) 424/7,8 = 54,4 \text{ машино-смен,}$$

$$2) 203/7,8 = 26,2 \text{ машино-смен.}$$

Стоимость машино-смены, руб.:

$$S_{см} = S_a + S_{кр} + S_{тр} + S_{гсм} + S_{осн} + S_{зн} + S_{накл}, \quad (5.3)$$

где  $S_a$  - затраты на амортизацию, руб.;

$S_{кр}$  - затраты на капитальный ремонт, руб.;

$S_{тр}$  - затраты на текущий ремонт и техобслуживание, руб.;

$S_{гсм}$  - затраты на горюче-смазочные материалы, руб.;

$S_{осн}$  - затраты на износ и ремонт сменной оснастки, руб.;

$S_{накл}$  - накладные расходы, руб.;

$S_{зн}$  - затраты на заработную плату обслуживающего персонала, руб..

а) Затраты на амортизацию, руб.

$$S_a = \frac{K \cdot a}{100 \cdot N}, \quad (5.4)$$

где  $a$  - норма амортизационных отчислений, %,  $a=11,1\%$ ;

$N$  - количество машино-смен;

$K$  - стоимость оборудования, руб.

Стоимость существующего комплекса машин складывается из стоимости всех составляющих его элементов, а именно, трактора Т-70 с бульдозерной навеской, мини-погрузчика Bobcat S100 и двух самоходных шасси ВТЗ-30СШ. Для предлагаемого комплекса машин складывается из стоимости: трактора Т-70, разработанной навесной машины, двух самоходных шасси ВТЗ-30СШ.

Тогда:  $K_1 = 750000 + 1750000 + 2 \cdot 690000 = 3880000$  руб.,

$K_2 = 750000 + 180000 + 2 \cdot 690000 = 2310000$  руб.,

$$S_{a_1} = \frac{3880000 \cdot 11,1}{100 \cdot 54,4} = 7917 \quad (\text{руб.}),$$

$$S_{a_2} = \frac{2310000 \cdot 11,1}{100 \cdot 26,2} = 9786,6 \quad (\text{руб.}).$$

б) Затраты на капитальный ремонт, руб:

$$S_{кр} = \frac{K \cdot a_{кр}}{100 \cdot N}, \quad (5.5)$$

где  $a_{кр}$  - норма отчисления на капитальный ремонт, %,  $a_{кр} = 5,5\%$

$N$  - количество машино-смен;

$K$  - стоимость оборудования, руб.

$$S_{кр_1} = \frac{3880000 \cdot 5,5}{100 \cdot 54,4} = 3923 \quad (\text{руб.}),$$

$$S_{кр_2} = \frac{2310000 \cdot 5,5}{100 \cdot 26,2} = 4849,2 \quad (\text{руб.}).$$

в) Затраты на текущий ремонт и технические обслуживания, руб.

$$S_{тр} = \frac{K \cdot a_{тр}}{100 \cdot N}, \quad (5.6)$$

где  $N$  - количество машино-смен;

$K$  - стоимость оборудования, руб.

$a_{тр}$  - норма отчисления на текущий ремонт и техобслуживание, %,  $a_{тр} = 27\%$ .

$$S_{тр_1} = \frac{3880000 \cdot 27}{100 \cdot 54,4} = 19257 \quad (\text{руб.}),$$

$$S_{mp_2} = \frac{2310000 \cdot 27}{100 \cdot 26,2} = 23805 \quad (\text{руб.}).$$

г) Затраты на горюче-смазочные материалы, руб.

$$S_{zcm} = q_{zcm} \cdot a_m, \quad (5.7)$$

где  $q_{zcm}$  - сменный расход дизельного топлива, кг.;

$a_m$  - цена дизельного топлива, руб/кг.

Сменный расход дизельного топлива для трактора Т-70 кг, определяется по формуле:

$$q_{zcm} = N_{ном} \cdot t_{cm} \cdot K_{дв} \cdot [q_x + (q_n - q_x) \cdot K_{дм}], \quad (5.8)$$

где  $N_{ном}$  - номинальная мощность двигателя, кВт;

$t_{cm}$  - число часов работы машины в смену;

$K_{дв}$  - коэффициент использования двигателя по времени,  $K_{дв} = 0,65$ ;

$K_{дм}$  - коэффициент использования двигателя по мощности,  $K_{дм} = 0,5$ ;

$q_x$  - удельный расход топлива на 1 кВт.ч. номинальной мощности двигателя при холостой работе, кг/кВт.ч.;

$q_n$  - удельный расход топлива при нормальной загрузке, кг/кВт.ч.

$$q_{zcm_1} = 118 \cdot 8 \cdot 0,7 \cdot [0,08 + (0,245 - 0,08) \cdot 0,5] = 107,4 \quad (\text{кг}),$$

$$q_{zcm_2} = 118 \cdot 8 \cdot 0,7 \cdot [0,08 + (0,245 - 0,08) \cdot 0,5] = 107,4 \quad (\text{кг}),$$

$$S_{zcm_1} = 107,4 \cdot 49 = 5262,6 \quad (\text{руб.}),$$

$$S_{zcm_2} = 107,4 \cdot 49 = 5262,6 \quad (\text{руб.}).$$

д) Затраты на износ и ремонт сменной оснастки, руб.:

$$S_{осн} = K_{осн} \cdot S_{тр}, \quad (5.9)$$

где  $K_{осн}$  - коэффициент перехода от затрат на текущий ремонт и техобслуживание к затратам на износ и ремонт сменной оснастки,

$K_{осн} = 0,05-0,08$ .

$$S_{осн_1} = 0,06 \cdot 19257 = 1155 \quad (\text{руб.}), \quad S_{осн_2} = 0,06 \cdot 23805 = 1428 \quad (\text{руб.})$$

е) Затраты на заработную плату обслуживающего персонала машины рассчитывают в соответствии с количеством и квалификацией персонала по формуле:

$$S_{зп} = 1,4 \cdot T_{см}, \quad (5.10)$$

где  $T_{см}$  - сменная тарифная ставка, соответствующая разряду, руб.

$$S_{зп} = 1,4 \cdot 350 \cdot 8 = 3920$$

С учетом того, что первый комплекс машин обслуживает 4 оператора, а второй - 3 оператора, то заработная плата составляет в первом случае 15680 рублей, а во втором – 11760 рублей.

ж) Накладные расходы включают в себя затраты на содержание административно-технического персонала ремонтных мастерских, охрану труда и техники безопасности и прочие затраты, связанные с обслуживанием парка машин. Эти затраты рекомендуются принимать в размере 10% от затрат на амортизацию, капитальный и текущий ремонт, техническое обслуживание, на горюче-смазочные материалы и 25% от заработной платы рабочих, занятых управлением машиной.

$$S_{нак} = 0,1 \cdot (S_a + S_{кр} + S_{тр} + S_{эсм}) + 0,25 \cdot S_{зп}, \quad (5.11)$$

$$S_{накл_1} = 0,1 \cdot (7917 + 3923 + 19257 + 5262,6) + 0,25 \cdot 15680 = 7123 \text{ (руб.)},$$

$$S_{накл_2} = 0,1 \cdot (9786,6 + 4849,2 + 23805 + 5262,6) + 0,25 \cdot 11760 = 7310 \text{ (руб.)}.$$

Стоимость машино-смены, руб.:

$$S_{см_1} = 7917 + 3923 + 19257 + 5262,6 + 1155 + 15680 + 7123 = 60317 \text{ (руб.)},$$

$$S_{см_2} = 9786,6 + 4849,2 + 23805 + 5262,6 + 1428 + 11760 + 7310 = 64201 \text{ (руб.)}.$$

Себестоимость разработки 1 тонны почвы рассчитывается по формуле:

$$C = \frac{S_{м.-см.}}{W_{см}}, \text{ руб/т} \quad (5.12)$$

Подставляя соответствующие значения в формулу 5.12 получим:

$$C_1 = \frac{60317}{92,71} = 650,6 \text{ руб/т},$$

$$C_2 = \frac{64201}{193,28} = 332,2 \text{ руб/т}.$$

Проведем расчет годовой экономии по формуле:

$$\mathcal{E}_{\text{год}} = (C_1 - C_2) \cdot P_{\text{год т}}, \text{ руб.} \quad (5.13)$$

где  $P_{\text{год т}}$  - количество тонн, которое в среднем в год (12000 тонн),

$$\mathcal{E}_{\text{год}} = (650,6 - 332,3) \cdot 12000 = 3819600 \text{ руб.}$$

Срок окупаемости дополнительных капитальных вложений, лет.:

$$T_{\text{одк}} = \frac{K_2}{\mathcal{E}_{\text{год}}}, \quad (5.14)$$

$$T_{\text{одк}} = \frac{2310000}{3189600} = 0,72 \text{ (года)}$$

Внедрение предлагаемой машины экономически выгодно, сравнительные показатели по двум вариантам приведены в таблице 5.2.

Таблица 5.2 Экономическая эффективность при внедрении новой техники

Показатели	1 комплекс машин	2 комплекс машин
1. Эксплуатационная производительность, т/ч	28,3	59,0
2. Годовая загрузка, тонн	12000	12000
3. Затраты труда на 1 т, чел.-ч./т	0,14	0,05
4. Снижение затрат труда, %	-	64,3
5. Количество обслуживающего персонала, чел.	4	3
6. Капитальные вложения, руб.	3880000	2310000
7. Количество машино- смен	54,4	26,2
8. Стоимость машино-смены, руб.	60317	64201
9. Годовая экономия, руб.	-	3819600
10. Срок окупаемости дополнительных капитальных вложений, лет	-	0,72

## 5.2 Выводы по главе

При использовании предложенного комплекса машин с разработанной навесной машиной для одновременного удаления и погрузки почвы получен



экономический эффект 3820800 рублей за год на годовой объём 12000 т. в ценах на январь 2022 года, 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 высокую трудоемкость и энергоемкость процесса.

2. Разработана новая 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 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 2.3, 2.4); мощности для привода (выражение 2.12), производительности (выражение 2.19) и энергоёмкости (выражение 2.22) удаления и погрузки санитарного слоя почвы. Основное влияние при установлен-

ных 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 энергоёмкости 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  $\gamma = 23 - 26$  градусов; поступательной скорости  $v = 0,14 - 0,17$  м/с и высоте слоя почвы  $h = 0,125 - 0,145$  м.

5. При использовании предложенного комплекса машин с разработанной прицепной машиной для одновременного удаления и погрузки грунта получен экономический эффект 3820800 рублей за год в ценах на январь 2022 года, 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 расчёт 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 энергоемкости 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.

**СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Доктрина продовольственной безопасности Российской Федерации. Москва 2020. - 26с. Формат: PDF. Режим доступа: <https://mcx.gov.ru/upload/iblock/3e5/3e5941f295a77fdcfed2014f82ecf37f.pdf> /, свободный (дата обращения: 18.11 2021). - Загл. с экрана
2. Павлов, П. И. Комплекс машин для работы с почвой в тепличном производстве / П.И. Павлов, А.О. Везиров, А.В. Ракутина, Д.В. Мухин // Аграрный научный журнал. 2016. № 7. С. 51-53.
3. AgroXXI [Электронный ресурс]. Статьи / Итоги года 2021 отрасли закрытого грунта: ассоциация Теплицы России. Режим доступа: <https://www.agroxxi.ru/rossiiskie-agronovosti/itogi-goda-2021-otrasli-zakrytogo-grunta-associacija-teplicy-rossii.html/>, свободный (дата обращения: 19.11. 2021). - Загл. с экрана
4. Ассоциация «Теплицы России» [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://rusteplica.ru/>, свободный (дата обращения: 19.11. 2021). — Загл. с экрана
5. ИА REGNUM [Электронный ресурс]. Статьи / Самообеспеченность тепличной продукцией в РФ достигла 75%. Режим доступа: <https://yandex.ru/turbo/regnum.ru/s/news/3463472.html/>, свободный (дата обращения: 19.11. 2021). — Загл. с экрана
6. Green Talk. ru. Портал о теплицах. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://greentalk.ru/topic/>, свободный (дата обращения: 20.11 2021)
7. Государственная программа развития сельского хозяйства и регулирования рынков сельскохозяйственной продукции, сырья и продовольствия на период 2013–2025 гг. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://mcx.gov.ru/activity/state-support/programs/program-2013-2020/> /, свободный (дата обращения: 18.11.2021). — Загл. с экрана
8. Горбатов А. В. развитие рынка органической продукции в России // Фундаментальные исследования. – 2016. – № 11-1. – С. 154-158. Режим доступа:

<https://fundamental-research.ru/ru/article/view?id=40945> /, свободный (дата обращения: 27.05.2022)

9. Клочков, А. В. Механизация работ в плодоовощеводстве: учебное пособие для профессионально-технических учебных заведений сельскохозяйственного профиля / А.В. Клочков. Минск: Дизайн-ПРО, 2002. 143 с.

10. Везиров, А. О. Повышение эффективности технологического процесса приготовления почвенных смесей путем обоснования конструктивно-режимных параметров погрузчика-смесителя: дисс. канд. техн. наук. / А.О. Везиров - Саратов. – 2013. - 126 с.

11. Лукашук, О. А. Машины для разработки грунтов. Проектирование и расчет: учебное пособие / О.А. Лукашук, А.П. Комиссаров, К.Ю. Летнев. - Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2018. — 128 с.

12. Бренды сельхозтехники, которые выбирают в России [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.agroxxi.ru/gazeta-zaschitarastanii/zrast/brendy-selhoztehniki-kotorye-vybirayut-v-rossii.html> /, свободный (дата обращения: 19.11.2021). — Загл. с экрана

13. Аутко, А. А. Тепличное овощеводство / А.А. Аутко, Н.Н. Долбик, И.П. Козловская. Минск: УП «Технопринт», 2003. 255 с.

14. Гиль, Л. С. Современное овощеводство закрытого и открытого грунта. Практическое руководство / Л.С. Гиль, А.И. Пашковский, Л.Т. Сулима. Изд.: Рута. 2012. – 468с. Формат: PDF режим доступа: <http://bibliotekar.ru/7-ovoschi/index.htm> /, свободный (дата обращения: 20.11 2021)

15. Тараканова, Г. И. Овощеводство защищенного грунта / Г.И. Тараканова, Борисов А.В., Климов В.В. – М.: Колос, 1984. – 272 с.

16. Шульгіна, Л. М. Довідник по овочівництву закритого ґрунту / Л.М. Шульгіна, Г.Л. Бондаренко, М.О. Склярєвський та ір.; За ред. Л.М. Шульгіної. – К.: Урожай, 1989. – 216 с.

17. Виды обработки почвы [Электронный ресурс]. Статьи / Растениеводство / Виды обработки почвы – Электрон. дан., 2019. – Режим доступа: <https://xn-->

[e1aelkciiia2b7d.xn--p1ai/stati/rastenievodstvo /vidy-obrabotkipochvy.html/](http://e1aelkciiia2b7d.xn--p1ai/stati/rastenievodstvo/vidy-obrabotkipochvy.html/), свободный (дата обращения: 19.11. 2021). — Загл. с экрана

18. Аутко, А.А. Приоритеты современного овощеводства: производственно-практическое издание /А.А. Аутко, Г.И. Гануш, Н.Н. Долбик. Минск: УП «Технопринт», 2003. – 157 с. – С. 117–127

19. Ганжара, Н. Ф. Почвоведение: Учеб. пособие для студентов вузов по агроном. специальностям / Н.Ф. Ганжара. - Москва: Агроконсалт, 2001. - 392 с.

20. Мониторинг технического уровня перспективных отечественных тракторов для аграриев [Электронный ресурс]. Статьи / Мониторинг технического уровня перспективных отечественных тракторов для аграриев. – Электрон. дан., 2019. – Режим доступа: <https://os1.ru/article/4971-monitoringtehničeskogo-urovnyua-perspektivnyh-otechestvennyh-traktorov-dlya-agrariiev/>, свободный (дата обращения: 19.11. 2021). — Загл. с экрана

21. Бренды сельхозтехники, которые выбирают в России [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.agroxxi.ru/gazeta-zaschitarastenii/zrast/brendy-selhoztehniki-kotorye-vybirayut-v-rossii.html/>, свободный (дата обращения: 19.11. 2021). — Загл. с экрана

22. Строй-Техника. ру. [Электронный ресурс]. Статьи / Ковшовые погрузочно-транспортные машины. Режим доступа: <https://stroy-technics.ru/kovshovye-mashiny/>, свободный (дата обращения: 19.11. 2021). — Загл. с экрана

23. Константинова, Т. В. Режим орошения томата на фоне различных субстратов в условиях защищенного грунта: автореферат дис. ... кандидата сельскохозяйственных наук: 06.01.02 / Волгогр. гос. с.-х. акад. - Волгоград, 2005. - 24 с.

24. Национальный стандарт Российской Федерации. Почвы и грунты. Грунты тепличные. Технические условия. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/1200073882/>, свободный (дата обращения: 21.01.2022)

25. Межгосударственный стандарт. Грунты. Классификация. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/1200095052/>, свободный (дата обращения: 21.01.2022)

26. Электронный фонд правовых и нормативно-технических документов [Электронный ресурс] Статьи / ГОСТ Р 53380-2009. Почвы и грунты. Грунты тепличные. Технические условия. Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/gost-r-53380-2009/>, свободный (дата обращения: 27.04.2022)
27. Электронный фонд правовых и нормативно-технических документов [Электронный ресурс] Статьи / ГОСТ 25100-2011 Грунты. Классификация. Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/1200095052/>, свободный (дата обращения: 27.04.2022)
28. Электронный фонд правовых и нормативно-технических документов [Электронный ресурс] Статьи / ГОСТ 5180-84 Грунты. Методы лабораторного определения физических характеристик. Режим доступа <https://docs.cntd.ru/document/1200126371/>, свободный (дата обращения: 27.04.2022)
29. Электронный фонд правовых и нормативно-технических документов [Электронный ресурс] Статьи / ГОСТ Р ИСО 6165-2010 «Машины землеройные. Классификация. Термины и определения». Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/1200093215/>, свободный (дата обращения: 21.01.2022)
30. Захарчук, Б. З. Бульдозеры и рыхлители / Б.З. Захарчук [и др.]. Москва: Машиностроение, 1987.
31. Епифанова, С. П. Машины для земляных работ / под ред. С.П. Епифанова. 2-е изд., перераб. И доп. – М.: Стройиздат, 1981. 352 с.
32. Подэрни, Р. Ю. Механическое оборудование карьеров: учеб. Для вузов / Р.Ю. Подэрни. 6-е изд., перераб. и доп. Москва: Изд-во Московского гос. горного ун-та, 2007. 606 с.
33. Родина, А. Г. Машины и технологическое оборудование ферм и комплексов для крупного рогатого скота, свиней, птиц и овец. Часть 1 : учебно-методическое пособие по выполнению лабораторно-практических занятий / А. Г. Родина, Е. Т. Русяева, В. А. Борознин. - Волгоград: ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ, 2015. - 108 с. - Текст: электронный. - URL: <https://znanium.com/catalog/product/615237/>, (дата обращения: 20.04.2022).



34. Винницкий, К. Е. Освоение гидравлических экскаваторов нового поколения в практике открытых разработок / К.Е. Винницкий [и др.] // Горная промышленность, 1998. № 1. С. 30–36.
35. Гидравлические экскаваторы фирмы LIEBHERR (ФРГ) // Горное оборудование. Экспресс-информация. ЦНИИТЭИтяжмаш, 1990. Сер. 13. Вып. 3. С. 1–9.
36. Справочник механика открытых работ. Экскавационно-транспортные машины непрерывного действия / под ред. М. И. Щадова и В. М. Владимирова. Москва: Недра, 1989.
37. Экскаваторы и комплексы непрерывного действия для открытых горных работ. Отраслевой каталог 18-4-88. М. ЦНИИТЭИтяжмаш, 1988. 112 с.
38. Глубина обработки почвы [Электронный ресурс]. Земледелие – Электрон. дан., 2019. – Режим доступа: <http://mse-online.ru/zemledelie/glubinaobrabotki-pochvy.html/>, свободный (дата обращения: 21.04.2022)
39. Kubota [Электронный ресурс]. Каталог - Электрон. дан., Режим доступа: <https://kubota.ru.com/products/spectehnika/>, свободный (дата обращения: 21.01.2022)
40. Dongfeng [Электронный ресурс]. Каталог - Электрон. дан., Режим доступа: <https://dongfengmotor.ru/>, свободный (дата обращения: 21.04.2022)
41. AGRI-TECH [Электронный ресурс]. Каталог - Электрон. дан., Режим доступа: <https://agri-tech.ru/catalog/20/0/0/tech85.html?/>, свободный (дата обращения: 21.04.2022)
42. Montefiori [Электронный ресурс]. Каталог - Электрон. дан., Режим доступа: <https://www.montefiori.net/ru/scraper-j280.php/>, свободный (дата обращения: 21.04.2022)
43. Горячкин, В.П. Собрание сочинений в 3-ёх томах. / В.П. Горячкин – М.: Колос, 1968. – т.2. – 455 с.
44. Берестов, Е. И. Влияние свойств грунта на усилия сопротивления копанью рабочим оборудованием бульдозера / Е.И. Берестов, И.В. Лесковец // Вестник Полоцкого государственного университета. Серия В. Промышленность. Прикладные науки – 2011. – № 3. – С. 45-52.

45. Домбровский, Н.Г. Строительные машины: [Учеб. для вузов по спец. «Строит. и дор. машины и оборудование»: В 2 ч.] / [Домбровский Н. Г. и др]. - М., «Высш. Школа», 1985. Изд. выходит с 1976 г. Ч. 2. -1985. - 224 с.
46. Айзеншток, И.Я. Основные вопросы механики процесса резания металлов / И. Я. Айзеншток, канд. техн. наук. - Киев; Москва: [Укр. отд-ние] Машгиза, 1950 (Киев: кн.-журн. ф-ка Укрполиграфиздата). - 84 с.
47. Зеленин, А.Н. Основы разрушения грунтов механическими способами: Монография. Изд. 2-е перераб. и доп./ А.Н. Зеленин // М.: Машиностроение, 1968. 376 с.
48. Ветров, Ю.А. Разрушение прочных грунтов / Ю.А. Ветров, В.Л. Балдинский, В.Ф. Баранников, В.П. Кукса // – Киев: Будивельник, 1993. 355 с.
49. Абергауз, В. Д. Режущие органы машин фрезерного типа для разработки горных пород и грунтов / В. Д. Абергауз. М., 1965. - 279 с.
50. Федоров, Д.И. Рабочие органы землеройных машин / Д. И. Федоров. - 2-е изд., перераб. и доп. - М. : Машиностроение, 1990. – 358 с.
51. Недорезов, И. А. Машины строительного производства: учеб. пособие / И. А. Недорезов, А. Г. Савельев - Москва: Издательство МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2012. - 119 с.
52. Романович, А.А. Геолого-литологические основы расчета и проектирования оборудования для измельчения горных пород: монография / А. А. Романович, А. М. Гридчин, В. С. Лесовик. - Белгород: Белгор. гос. технол. ун-т, 2012. - 350 с.
53. Вахрушев, С.И. Строительные машины (в вопросах и ответах): учеб. пособие. – 2-е изд., перераб. / С.И. Вахрушев. – Пермь: Изд-во Перм. нац. исслед. политехн. ун-та, 2012. – 276 с.
54. Воскресенский, Г.Г. Введение в динамику гидропривода рабочего оборудования мобильных машин / Г. Г. Воскресенский; М-во образования и науки Рос. Федерации, Тихоокеан. гос. ун-т. - Хабаровск : Изд-во ТОГУ, 2015. – 151 с.
55. Вахрушев, С.И. Повышение производительности бульдозера путем совершенствования отвала с ножами и рыхлительного оборудования / Е.А. Адамов, С.И. Вахрушев // Современные технологии в строительстве. Теория и

практика. Пермский национальный исследовательский политехнический университет, 2020. - Том 2. С. 450 - 455

56. Ларюшин, Н. П. Теоретическое обоснование конструктивных и режимных параметров вальцово-битерного подбирающего устройства / Н.П. Ларюшин, А.М. Ларюшин // Нива Поволжья, 2009. - № 1(10). - С. 82-87
57. Патент № 2239026 РФ на изобретение, опуб. 27.10.2004 г. бюл. № 30 Грунтоизвлекатель / Бессарабов В.Я., Булатов П.Я., Гумеров А.Г., Гумеров Р.С., Самматов Р.Л., Хасанов А.Х. Патентообладатель Институт проблем транспорта энергоресурсов "ИПТЭР"
58. Патент РФ на полезную модель №98435; МПК E02F 5/08, F16L 1/028; Машина для удаления грунта из-под магистрального трубопровода / Федотенко Ю.А., Гапеев В.М., Попов В.П., Лазутина Д.В.; патентообладатель(и): Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Сибирская государственная автомобильно-дорожная академия (СибАДИ)"; опубл. 20.10.2010, бюл. №29
59. Патент РФ на полезную модель №26626; МПК F16L 1/028; Машина для разработки и удаления грунта из-под трубопровода / автор и патентообладатель Булатов П.Я.; опубл. 10.12.2002, бюл. №34
60. Патент РФ на изобретение №2193713; МПК F16L 1/028; Машина для удаления грунта из-под магистрального трубопровода / Челышев В.В., Сауткин В.П., Семин Р.С., Зайчиков Г.И., Вавилов А.Д.; патентообладатель: общество с ограниченной ответственностью производственно-коммерческая фирма "Промтех-НН"; опубл. 27.11.2002, бюл. № 33
61. Авторское свидетельство СССР №606795; МПК B65G 65/00, E02F 3/18; Механический погрузчик / Слето Н.П.; опубл. 15.05.78, бюл. №18
62. Авторское свидетельство СССР №204742; МПК A01b; Машина для очистки парников / Горбачев С.И.; опубл. 20.10.1967, бюл. №22
63. Авторское свидетельство СССР №163465; МПК A01g; Способ очистки парников / Бронштейн И.И., Павликов А.М., Воробьев Б.С.; опубл. 22.06.1964, бюл. № 12

64. Патент РФ по изобретению №2481998; МПК В62D 63/00, В60P 1/64, А01D 90/00; Транспортное средство со сменным кузовом для перевозки насыпных сельскохозяйственных грузов малой плотности / Евтюшенков Н.Е., Измайлов А.Ю., Калинин Г.А., Крюков М.Л., Пышкин В.К.; патентообладатель: Государственное научное учреждение Всероссийский научно-исследовательский институт механизации сельского хозяйства Российской академии сельскохозяйственных наук; опубл. 20.05.2013, бюл. №14
65. Патент РФ на полезную модель №129912; МПК В65G 47/34, В65G 47/52, Транспортер-перегрузчик / Косенков А.С.; патентообладатель: общество с ограниченной ответственностью "Карачев-АгроПарк"; опубл. 10.07.2013, бюл. №19
66. Патент на полезную модель № 87153 РФ; МПК В65G 67/24; Погрузчик смеситель / П.И. Павлов, Г.В. Левченко, И.С. Алексеенко, заявитель и патентообладатель: ФГБОУ ВО Саратовский ГАУ. опубл. 27.09.2009, Бюл. № 27
67. Павлов, П. И. Комплекс машин для работы с почвой в тепличном производстве / Павлов П.И., Везиров А.О., Левченко А.В. (Ракутина А.В.), Мухин Д.В. // Аграрный научный журнал. 2016. № 7. С. 51-53.
68. 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.
69. Мухин, Д.В. Повышение эффективности технологического процесса укладки почвенных компонентов путем обоснования параметров и режимов рабочих органов комбинированного укладчика: дисс. канд. техн. наук. / Д.В. Мухин - Саратов. – 2019. - 123 с.
70. [Электронный ресурс]. Режим доступа: [www.inta.ru/mass-media/news/metodika-otsenki-kachestva-smesheniya/](http://www.inta.ru/mass-media/news/metodika-otsenki-kachestva-smesheniya/), свободный (дата обращения: 27.04.2022)
71. Алексеев, В. М. Физико-механические свойства грунтов и лабораторные методы их определения / Алексеев В.М., Калугин П.И. Воронеж, гос. арх.-строит. ун-т, 2009 — 89 с.

72. Панов, А. И. Физические основы механики почвы / А.И. Панов // Механизация обработки почвы, посева и применения удобрений: сб. науч. Тр. ВИМ. – М., 2000. – Т. 131. – С. 46-51.
73. Гимейн, С. М. Физико-механические свойства навоза. / С.М. Гимейн // Механизация и электрификация соц. сельского хозяйства. – 1962. - № 4. – с. 49...50
74. Дубинин, В.Ф. Физико-механические и перегрузочные свойства сельскохозяйственных грузов: учебное пособие. / В.Ф. Дубинин, П.И. Павлов – Саратов: Сарат. гос. с. – х. акад., 1996. – 100 с.
75. Адлер, Ю. П. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий / Ю.П. Адлер и др. - М.: Наука, 1976. – 279 с.
76. Львовский, Е. Н. Статистические методы построения эмпирических формул / Е.Н. Львовский. Изд. 2-е, перераб. и доп. - М.: Высшая школа, 1988. – 239 с.
77. Скотников, Д.А. Совершенствование технологии и оптимизация параметров смесителя для приготовления субстрата при производстве биогумуса: дисс. канд. техн. наук. / Д.А. Скотников - Саратов. – 2003. - 174 с.
78. Мельников, С. В. Планирование эксперимента в исследованиях сельскохозяйственных процессов / С.В. Мельников, В.Р. Алешкин, П.М. Рощин – Л.: Колос, 1980. – 168 с.
79. Новик, Ф. С. Оптимизация процессов технологии металлов методами планирования экспериментов / Ф.С. Новик, Я.Б. Арсов. - М.: Машиностроение; София: Техника, 1980. – 304 с.
80. Руководство пользователя МИГ-018. М. 2008. – 78 с.
81. Радченко, Г. Е. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий проектирования процесса / Г.Е. Радченко. – Горки, 1978. – 70 с.
82. Электронный фонд правовых и нормативно-технических документов [Электронный ресурс] Статьи / ГОСТ 11.006-74. Правила проверки согласия опытного распределения с теоретическим. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/822906514/>, свободный (дата обращения: 27.04.2022)

83. Брызгалов, В. А. Овощеводство защищенного грунта / В.А. Брызгалов, В.Е. Советкина, Н.И. Савинова - Л.: Колос, 1983. 380 с.
84. Ващенко, С. Ф. Овощеводство защищенного грунта. – М.: Колос, 1984. – 272 с.
85. Пантиелев, Я. Х. Сезонные работы в овощеводстве. Сезонные работы в овощеводстве / Я.Х. Пантиелев. Издат.: «Агропромиздат», 1986. – 240 с.
86. Верещагин, В. И. Организация и технология механизированных работ в растениеводстве / В.И. Верещагин, А.Г. Левшин, А.Н. Скороходов – М.: Изд. центр «Академия», 2003. – 416с.
87. Судаченко, В. Н. Механизация и автоматизация работ в защищенном грунте / В.Н. Судаченко, В.А. Терпигорев, Г.Ф. Попов, Д.О. Лебл. – Л.: Колос. Ленингр. отд-ние, 1982. – 223 с., ил.
88. Росагропортал [Электронный ресурс]. Режим доступа: [https://rosagroportal.ru/article/current/321/teplichnye\\_grunty\\_substraty\\_i\\_mineralnoe\\_pitan/](https://rosagroportal.ru/article/current/321/teplichnye_grunty_substraty_i_mineralnoe_pitan/), свободный (дата обращения: 07.02.2022)
89. Энциклопедия маркетинга [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.marketing.spb.ru/mr/food/glasshouse.htm/>, свободный (дата обращения: 07.02.2022)
90. Сельское хозяйство [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://selskoe-xozyaystvo.ru/pochva/pochva-v-parnikakh-i-teplitcakh/>, свободный (дата обращения: 21.01.2022)
91. Овощи [Электронный ресурс]. Статьи /Механизация трудоемких процессов в сооружениях защищенного грунта. Режим доступа: <http://ovoshch.ru/f/id/93-Mehanizatsiya-trudoemkih-protsesov-v-sooruzeniyah.html/> свободный (дата обращения: 07.02.2022)
92. Ботаника [Электронный ресурс]. Статьи / Тепличный грунт режим доступа: <http://botane.ru/spravochnik/teplica/teplichnyj-grunt/>, свободный (дата обращения: 07.02.2022)

93. Владимиров, В. В. Инвестиционные стратегии агропроизводителей в условиях импортозамещения / В.В. Владимиров, В.В. Белов, С.П. Филиппова // Известия Международной академии аграрного образования. 2017. № 32. С. 55-59.
94. Гайнанов Х.С. Исследование рабочих органов машин непрерывного действия для погрузки органических удобрений // Дисс. ... канд. техн. наук. – Саратов, 1964. – 157 с.
95. Давыдов, В. Д. Справочник по овощеводству и бахчеводству / Сост. В. Д. Давыдов; Под ред. В. П. Янатьева. - Донецк: Донбасс, 1981. - 287 с.
96. Левченко, А. В. Улучшение внутренней логистики теплицы при работе с почвой / Левченко А.В. // в сборнике: Наука и образование в XXI веке: современные векторы развития и перспективы. Сборник статей Международной научно-практической конференции. Саратов, 2020. С. 17-20.
97. Герасименко И.В. Определение конструктивно-режимных параметров модернизированного щелевателя / И.В. Герасименко, К.С. Потешкин // Молодой ученый. - 2012. - №12. - С. 39-43. Режим доступа: <https://moluch.ru/archive/47/5848/>, свободный (дата обращения: 27.04.2022)
98. Современные сельскохозяйственные машины и оборудование для растениеводства (конструкции и основные тенденции развития): По материалам Международного салона сельскохозяйственной техники SIMA-2001. –М.: ИНФРА-М, 2001. –С. 152
99. Technisch – ekonomische Paramet von Frothladen / Mares Z. / Agrar-technic (DDR) – 1990 – 40, № 11 – s. 491...493.
100. Vezirov, A. O. Results of experimental studies of the process of soil removal and loading in greenhouses Vezirov A.O., Pavlov P.I., Levchenko A.V., Korsak V.V// Volga Region Farmland. 2020. № 3 (7). С. 103-107.
101. 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

102. 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.
103. 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.
104. Павлов, П. И. Результаты экспериментальных исследований прицепной машины для удаления и погрузки почвы в теплицах / П.И. Павлов, А.О. Везиров, В.В. Корсак, А.В. Левченко // Аграрный научный журнал. 2020. № 12. С. 97-99.
105. 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 / Vezirov A.O., Pavlov P.I., Levchenko A.V // IOP CONFERENCE SERIES: EARTH AND ENVIRONMENTAL SCIENCE Krasnoyarsk Science and Technology City Hall of the Russian Union of Scientific and Engineering. Krasnoyarsk, 2021 Издательство: IOP Publishing Ltd
106. Павлов, П. И. Технологическая схема и машина для удаления санитарного слоя грунта из теплиц / П.И. Павлов, А.В. Левченко А.В. // В сборнике: Актуальные проблемы и перспективы инновационной агроэкономики. Сборник статей Национальной (Всероссийской) научно-практической конференции. 2020. С. 261-266.
107. Халанский, В. М. Сельскохозяйственные машины / Халанский В.М., Горбачев И. В.//– М.: Колосс, 2003. – 623 С.
108. Лозановская, И. Н. Теория и практика использования органических удобрений. / И.Н. Лозановская, Д.С. Орлов, П.Д. Попов – М.: ВО Агропромиздат, 1988, 96 с.
109. Гамзиков Г.П. Изменение содержания гумуса в почвах в результате сельскохозяйственного использования / Г.П. Гамзиков, М.Н. Кулагина // Обзорная информация: ВНИИТЭИагропром. – М., -1992. – 48с.



110. Wacquant C. Melon. Maitrise du climat et production // Infos, Centre Technique Interprofessionnel des Fruits et Legumes, France. - 1989. - 49. - P. 33-39.
111. Электронный фонд правовых и нормативно-технических документов [Электронный ресурс] Статьи / ГОСТ Р 52778-2007. Испытания сельскохозяйственной техники. Методы эксплуатационно-технологической оценки. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/1200057687/>, свободный (дата обращения: 27.04.2022)
112. Электронный фонд правовых и нормативно-технических документов [Электронный ресурс] Статьи /ГОСТ 20915-2011. Испытания сельскохозяйственной техники. Методы определения условий испытаний. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/1200094197/>, свободный (дата обращения: 27.04.2022)
113. Личман, Г.Н. Методы оценки эффективности машинной технологии по комплексному показателю. / Г.Н. Личман // Тезисы докладов международной научно-технической конференции Информагротех. – М.: Информагротех, 1998. – с. 99 - 100.
114. Методика определения экономической эффективности технологий и сельскохозяйственной техники. Часть 2 Нормативно-справочный материал.: Москва 1998-251 с.
115. Водяников, В. Т. Практикум по организации и управлению производством на сельскохозяйственных предприятиях / В.Т. Водяников, А.И. Лысюк и др. / Под. ред. В.Т. Водяникова. - М.: КолосС, 2005-448 с.
116. Методика определения экономической эффективности использования в сельском хозяйстве результатов научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ, новой техники, изобретений и рационализаторских предложений. Госагропром УССР. – Киев: Урожай, 1986 – 117с.
117. Методы определения экономической эффективности использования в сельском хозяйстве результатов научно-исследовательских работ, новой техники и рационализаторских предложений. ВАСХНИЛ. – М.:1980. – 117с.

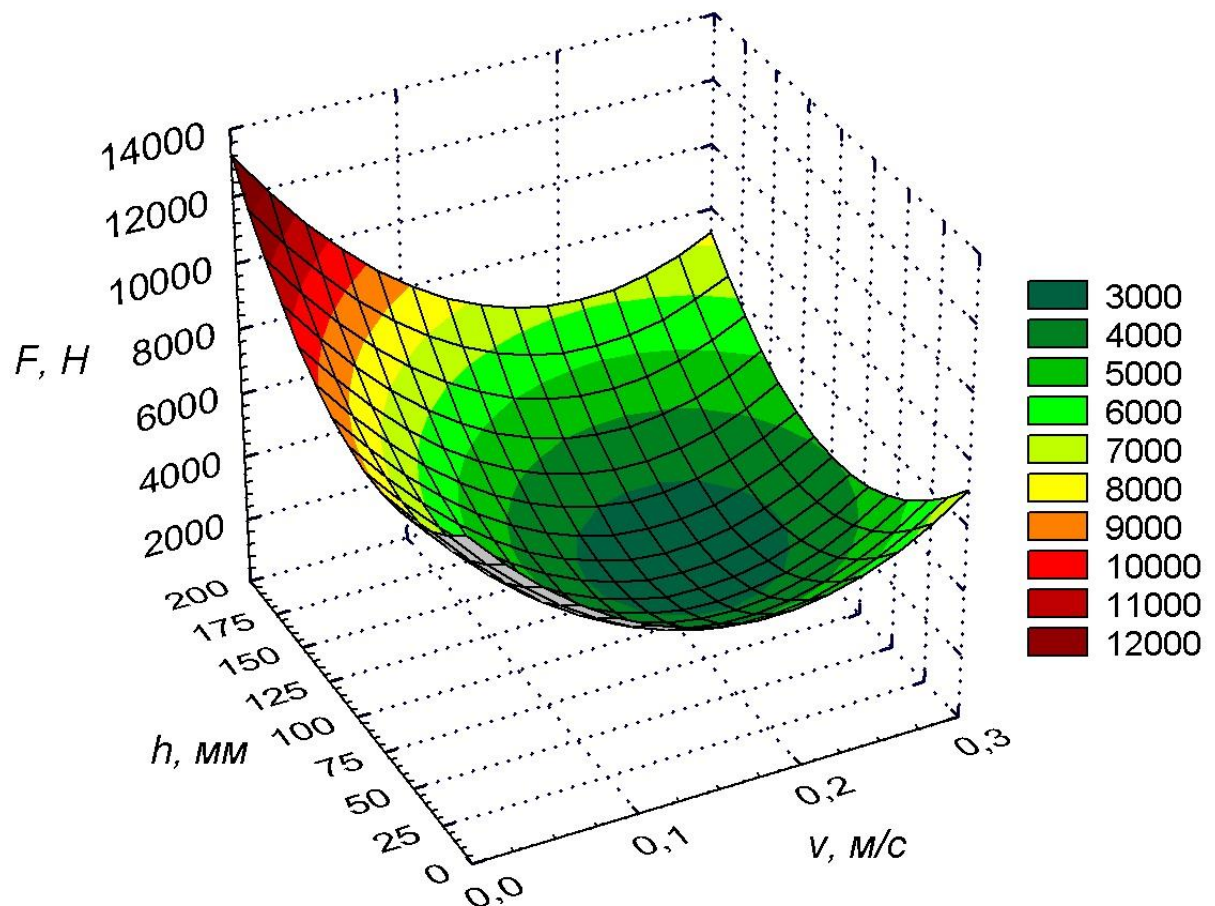
118. Ерохин, М. Н. Подъемно-транспортные машины / М. Н. Ерохин, С. П. Казанцев, А. В. Карп и др.; Под ред. М. Н. Ерохина и С. П. Казанцева. - М.: КолосС, 2010. - 335 с.: ил. - (Учебники и учеб. пособия для студентов высш. учеб. заведений)
119. Борисенко, И. Б. Снижение тягового сопротивления сельскохозяйственных машин за счет минимализации его колебаний при обработке тяжелосуглинистых почв / И.Б. Борисенко, А.Н. Цепляев, Р.А. Косильников, В.А. Цепляев, А.Н. Матасов, С.С. Полторынкин // Вестник Федерального государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования "Московский государственный агроинженерный университет имени В.П. Горячкина". 2019. № 2 (90). С. 14-19.
120. Бойков, В.М. Рациональная технология безотвальной основной обработки почвы / В.М. Бойков, С.В. Старцев, А.В. Павлов, К.К. Окас // Аграрный научный журнал. 2017. № 2. С. 44-46.
121. Соколов, Н. М. Обработка почвы в паровом поле / Н.М. Соколов, С.Б. Стрельцов, В.В. Худяков // Успехи современного естествознания. 2017. № 11. С. 49-54.
122. Купряшкин, В. Ф. Обоснование конструктивных параметров рабочих элементов привода навесного почвообрабатывающего модуля с комбинированным вращением активных рабочих органов / А.Ю. Гусев, В.Ф. Купряшкин, А.С. Уланов, А.Н. Кувшинов, Н.А. Четверов, А.В. Овчинникова // Техника и оборудование для села. 2022. № 2 (296). С. 15-21.

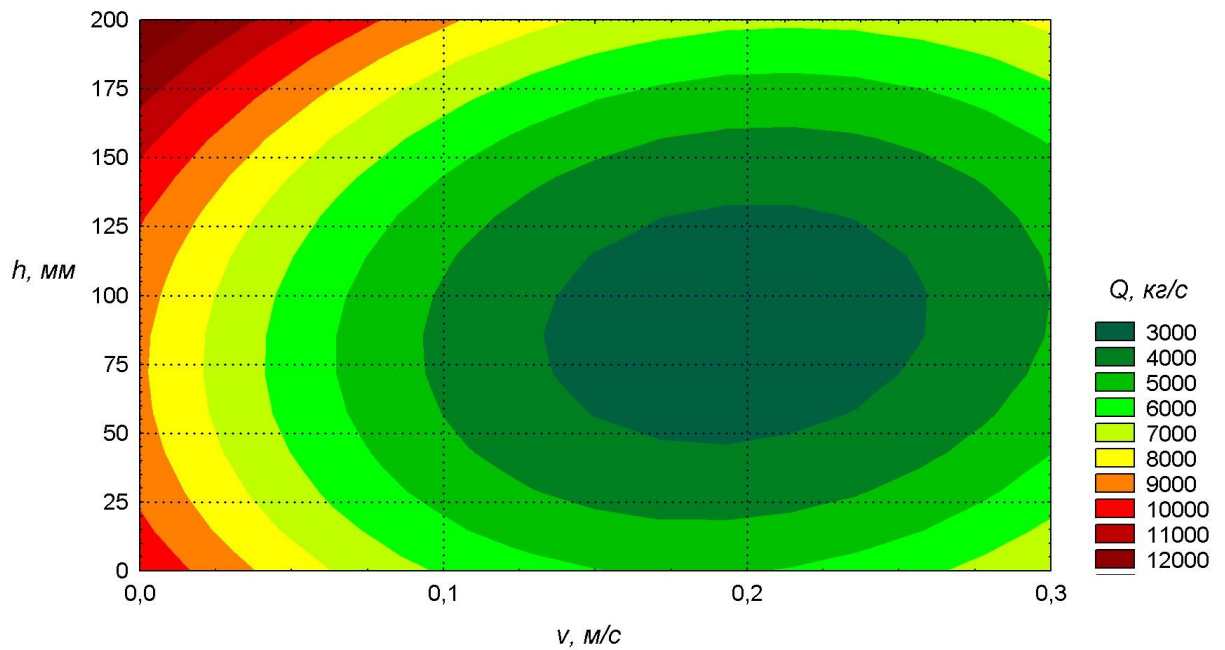
# ПРИЛОЖЕНИЯ

Результаты обработки:

1. **F, Н** от **h, м** и **v, м/с**

<b>v, м/с</b>	<b>h, м</b>	<b>F, Н</b>
0,05	60	5796
0,11	60	3675
0,17	60	2820
0,23	60	2504
0,05	100	5634
0,11	100	3621
0,17	100	2896
0,23	100	2844
0,05	140	6552
0,11	140	4215
0,17	140	3370
0,23	140	3329
0,05	180	9318
0,11	180	6380
0,17	180	5153
0,23	180	4906





$$F = 9855,697 - 54909,7 \cdot v - 46,396 \cdot h + 1,52 \cdot 10^5 \cdot v^2 - 52,563 \cdot v \cdot h + 0,316 \cdot h^2$$

R	0,99249	Корреляция между вычисленными и опытными данными
---	---------	--

R2= 0,985036 достоверность

s= 225,0176 среднеквадратичное (стандартное) отклонение

Оптимум (минимум)

Если принять  $v = 0,2$  м/с (см. рис.) получим

$$F = 9855,697 - 54909,7 \cdot 0,2 - 46,396 \cdot h + 1,52 \cdot 10^5 \cdot 0,2^2 - 52,563 \cdot 0,2 \cdot h + 0,316 \cdot h^2,$$

или

$$F = 9855,697 - 10981,94 - 46,396 \cdot h + 6080 - 10,5126 \cdot h + 0,316 \cdot h^2,$$

$$F = 4953,757 - 56,986 \cdot h + 0,316 \cdot h^2,$$

Тогда производная по  $h$  при  $v = 0,2$  м/с:

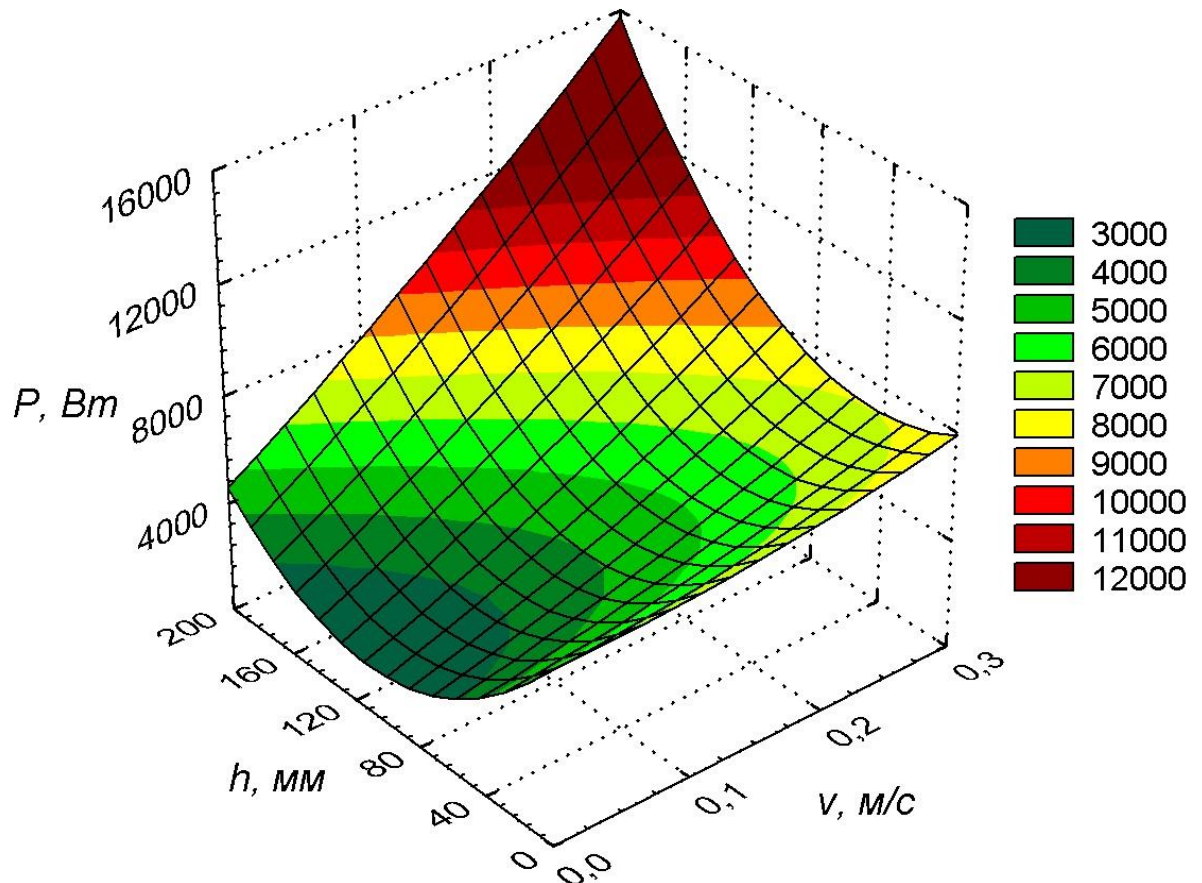
$$F' = -56,986 + 0,632 \cdot h,$$

$$F' = 0 \text{ при } h = 90,16772 - \text{минимум } F$$

Результаты обработки:

1.  $P$ , Вт от  $h$ , м. и  $v$ , м/с

$v$ , м/с	$h$ , мм	$P$ , Вт
0,05	60	2898
0,11	60	4043
0,17	60	4794
0,23	60	5760
0,05	100	2817
0,11	100	3983
0,17	100	4923
0,23	100	6541
0,05	140	3276
0,11	140	4637
0,17	140	5729
0,23	140	7657
0,05	180	4659
0,11	180	7018
0,17	180	8761
0,23	180	11283



$$P = 6443,37 - 479,61 \cdot v - 84,651 \cdot h + 17413,2 \cdot v^2 + 162,321 \cdot v \cdot h + 0,377 \cdot h^2$$

R 0,993676 Корреляция между вычисленными и опытными данными

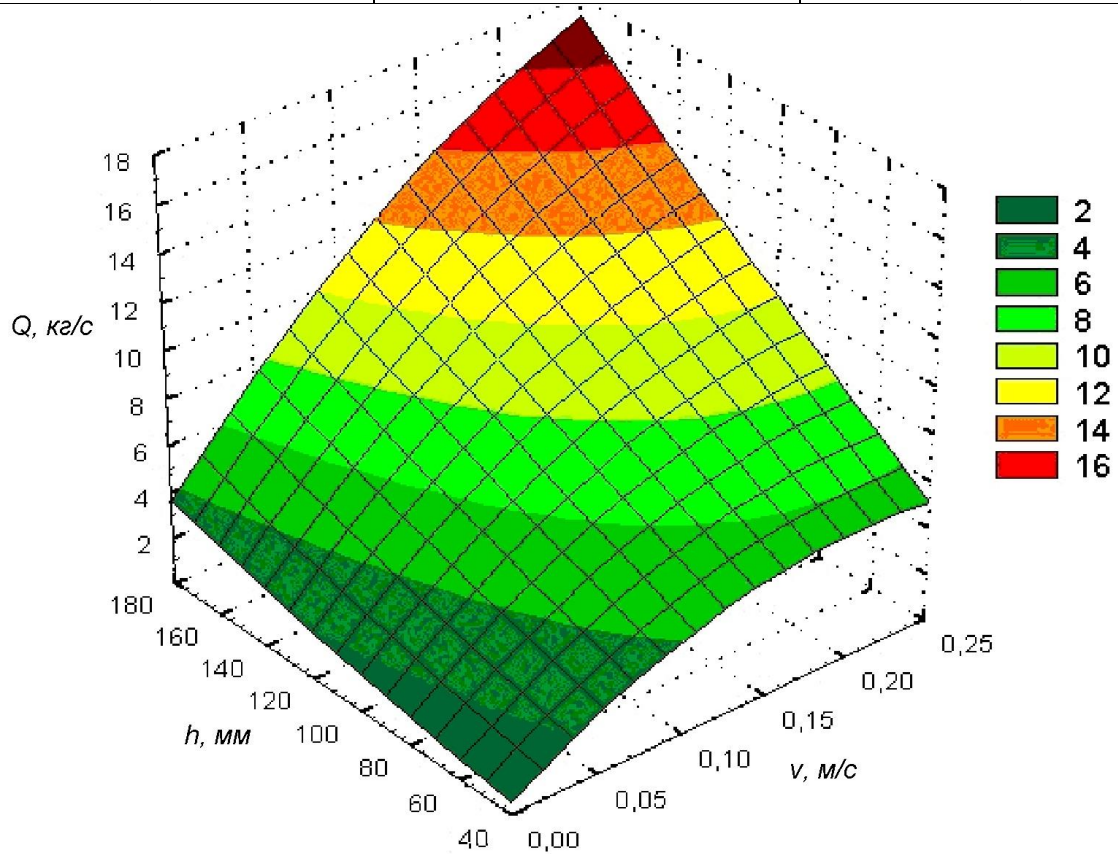
R2=	0,987392		достоверность (очень высокая)
s=	255,7585		среднеквадратичное (стандартное) отклонение

Оптима нет

Результаты обработки:

1.  $Q$ , кг/с от  $h$ , м. и  $v$ , м/с

$v$ , м/с	$h$ , м	$Q$ , кг/с
0,05	60	3,35
0,11	60	4,9
0,17	60	6
0,23	60	6,8
0,05	100	4,5
0,11	100	7,1
0,17	100	9
0,23	100	10,3
0,05	140	5,6
0,11	140	8,9
0,17	140	11,3
0,23	140	13
0,05	180	7,28
0,11	180	11,6
0,17	180	14,7
0,23	180	16,4





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

R      0,997961      Корреляция между вычисленными и опытными данными

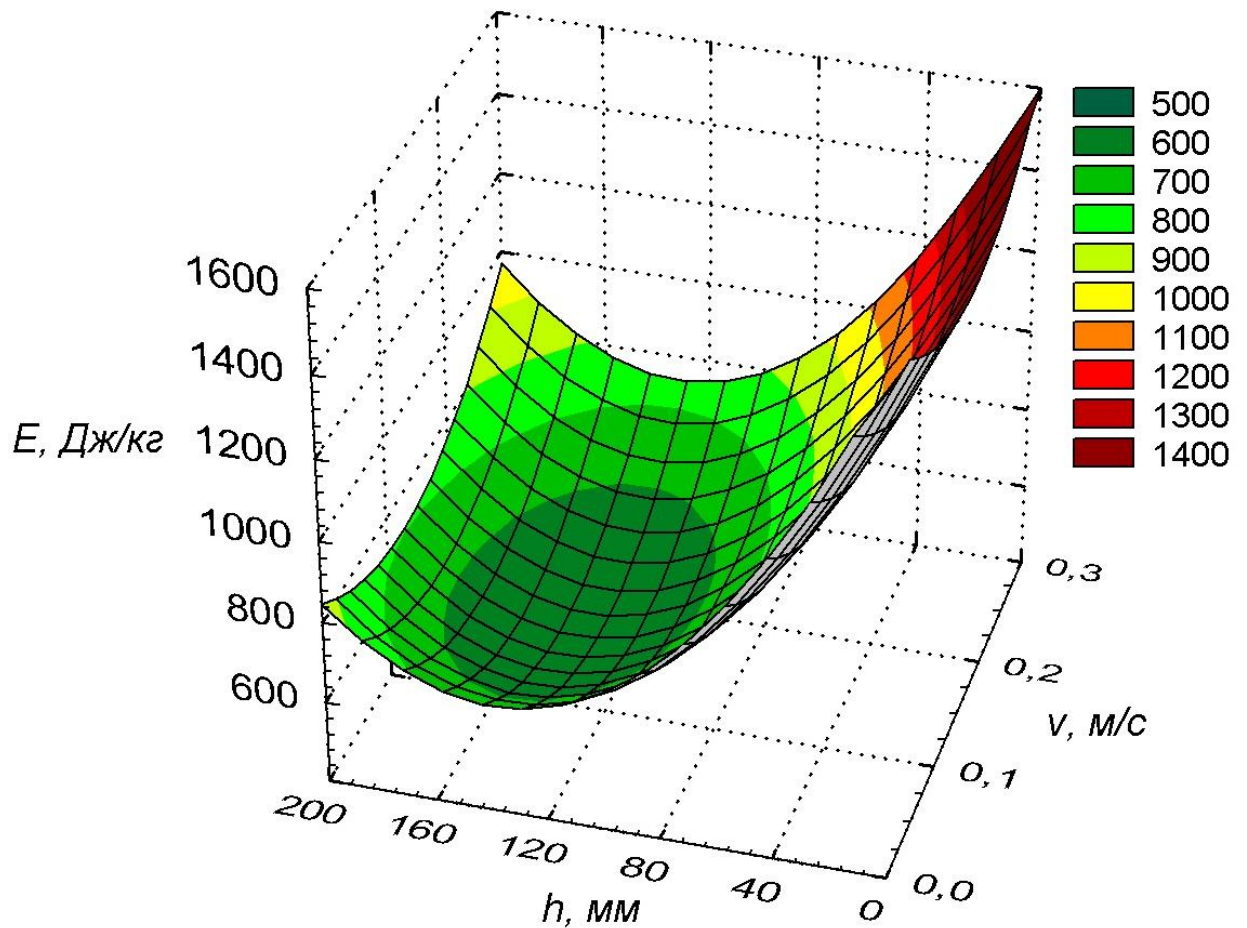
R2=	0,995926	достоверность (очень высокая)
s=	0,246137	среднеквадратичное (стандартное) отклонение

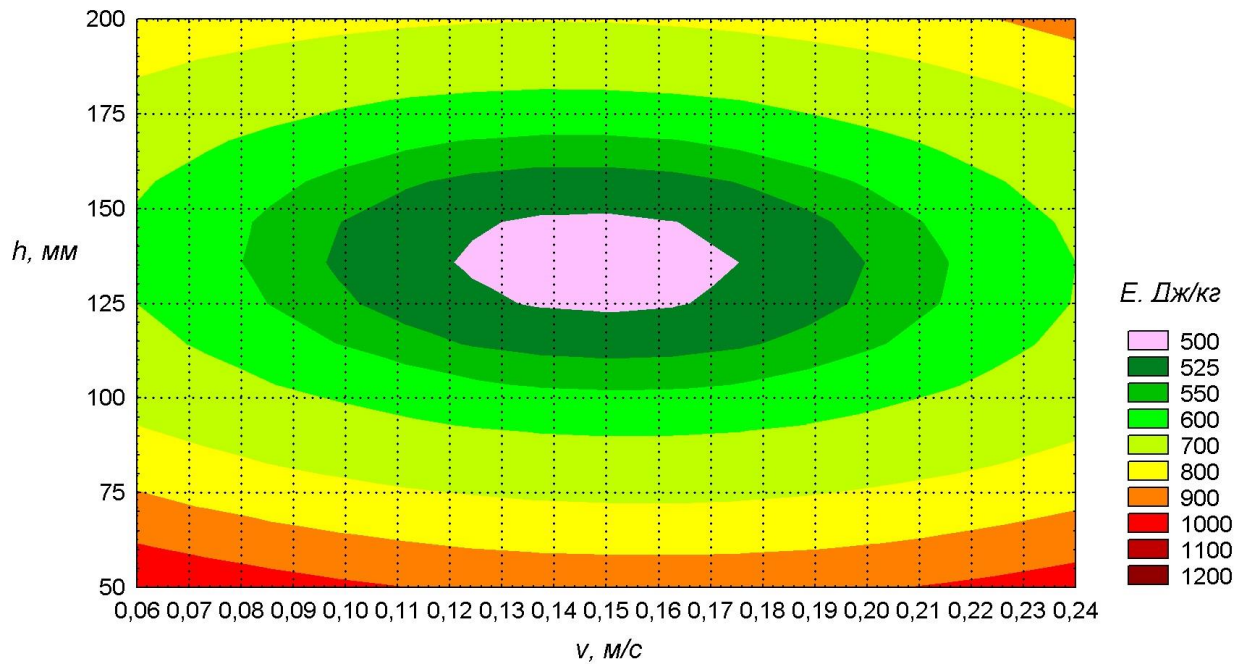
Оптимума нет

Продолжение прил. А  
Результаты обработки:

1.  $E$ , Дж/кг от  $h$ , м. и  $v$ , м/с

$v$ , м/с	$h$ , мм	$E$ , Дж/кг
0,05	60	865
0,11	60	825
0,17	60	799
0,23	60	847
0,05	100	626
0,11	100	561
0,17	100	547
0,23	100	635
0,05	140	585
0,11	140	521
0,17	140	507
0,23	140	589
0,05	180	640
0,11	180	605





$$E = 1648,127 - 2786,11 \cdot v - 14,116 \cdot h + 8923,61 \cdot v^2 + 2,625 \cdot v \cdot h + 0,051 \cdot h^2$$

Корреляция между вычисленными и опытными данными	
R	0,992803
R2=	0,985659    достоверность
s=	16,28327    среднеквадратичное (стандартное) отклонение

Оптимум (минимум)

Если принять  $v = 0,15$  м/с (см. рис.) получим

$$E = 1648,127 - 2786,11 \cdot 0,15 - 14,116 \cdot h + 8923,61 \cdot 0,15^2 + 2,625 \cdot 0,15 \cdot h + 0,051 \cdot h^2$$

или

$$E = 1430,99173 - 14,50975 \cdot h + 0,051 \cdot h^2$$

Тогда производная по  $h$  при  $v = 0,15$  м/с:

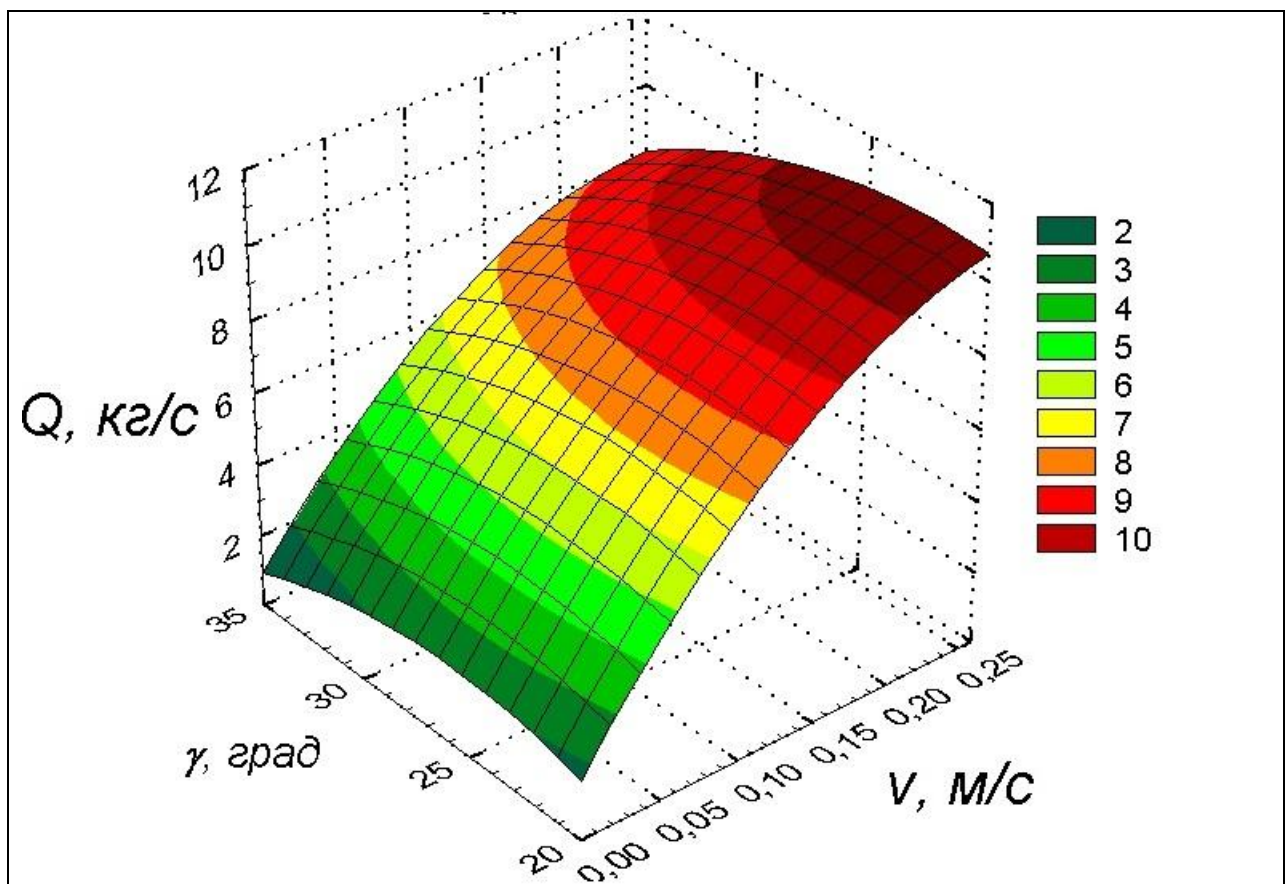
$$E' = -14,50975 + 0,102 \cdot h,$$

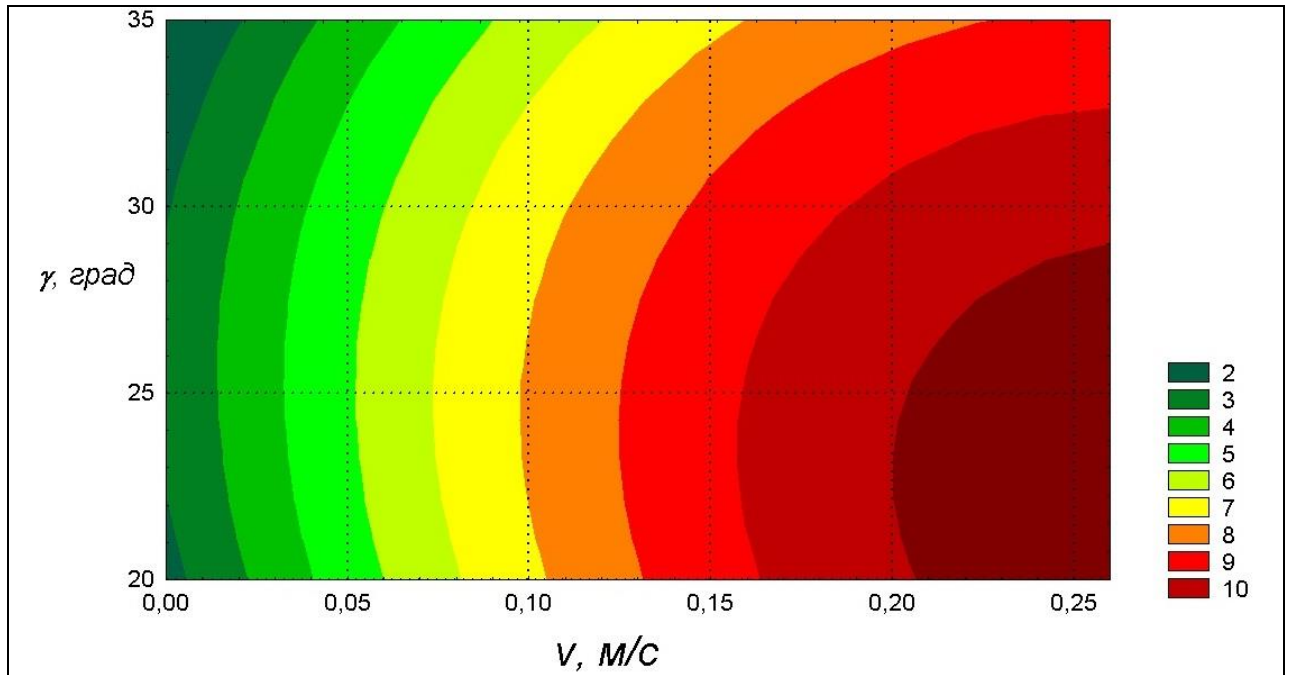
$$E' = 0 \text{ при } h = 142,252451 - \text{минимум } E$$

Результаты обработки:

1.  $Q$ , кг/с от  $\gamma$ , град и  $U$ , м/с

$U$ , м/с	$\gamma$ , град	$Q$ , кг/с
0,05	20	4,8
0,05	25	4,9
0,05	30	4,2
0,05	35	3,5
0,11	20	7,1
0,11	25	7,3
0,11	30	6,8
0,11	35	5,9
0,17	20	9,0
0,17	25	9,5
0,17	30	8,8
0,17	35	7,3
0,23	20	10,3
0,23	25	10,6
0,23	30	9,7
0,23	35	7,7





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

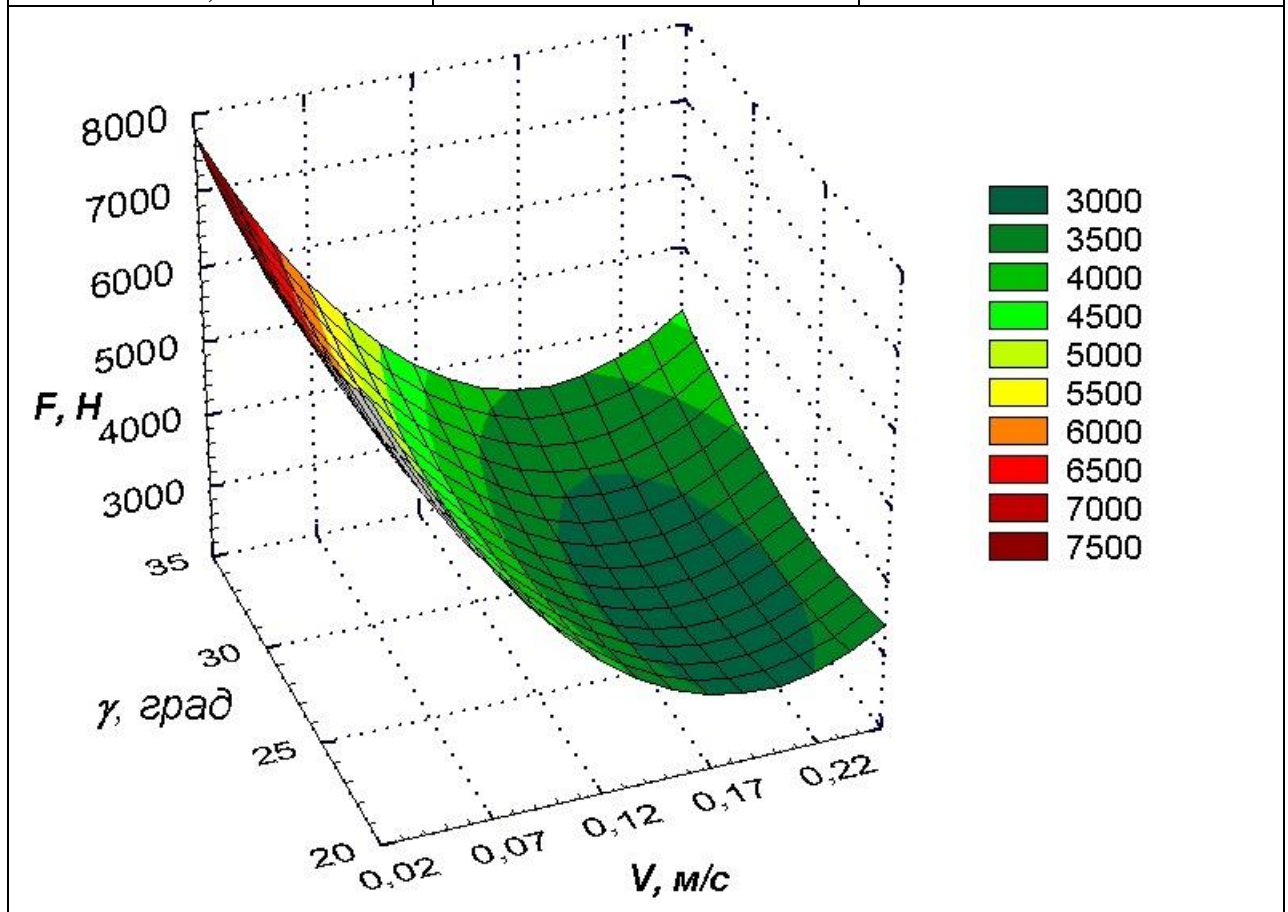
R=	0,9937	Корреляция между вычисленными и опытными данными
R <sup>2</sup> =	0,9874	достоверность (очень высокая)
s=	0,463	среднеквадратичное (стандартное) отклонение

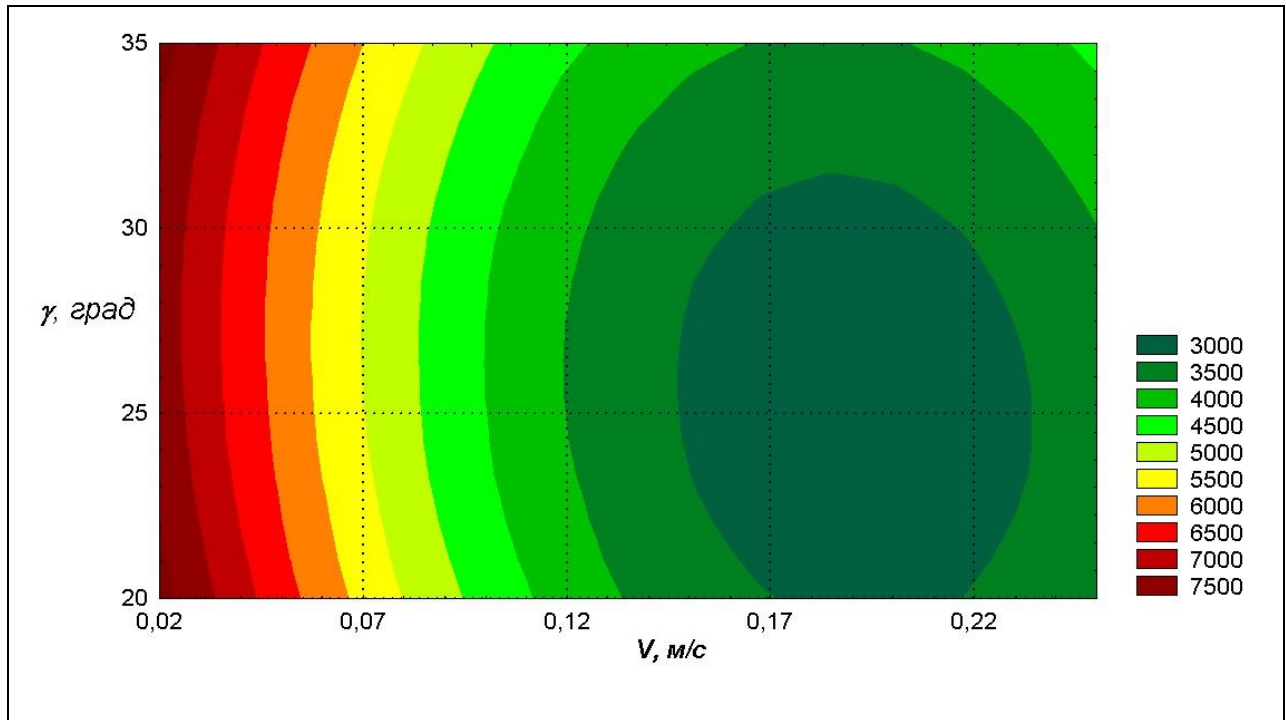
Оптимума нет

Результаты обработки:

2. **F**, Нот  $\gamma$ , град и **v**, м/с

<b>v</b> , м/с	$\gamma$ , град	<b>F</b> , Н
0,05	20	6292
0,05	25	5958
0,05	30	5602
0,05	35	6394
0,11	20	3908
0,11	25	3703
0,11	30	3783
0,11	35	4364
0,17	20	2991
0,17	25	2874
0,17	30	2945
0,17	35	3467
0,23	20	3109
0,23	25	2936
0,23	30	3231
0,23	35	3670





$$F = 14507,7 - 65712,35 \cdot v - 439,168 \cdot \gamma + 1,59 \cdot 10^5 \cdot v^2 + 204,5 \cdot v \cdot \gamma + 7,907 \cdot \gamma^2$$

R=	0,9968	Корреляция между вычисленными и опытными данными
R <sup>2</sup> =	0,9936	достоверность (очень высокая)
s=	97,56	среднеквадратичное (стандартное) отклонение

Точка минимума при  $\gamma = 25^\circ$

$$F = 14507,7 - 65712,35 \cdot v - 439,168 \cdot 25 + 1,59 \cdot 10^5 \cdot v^2 + 204,5 \cdot v \cdot 25 + 7,907 \cdot 25^2$$

$$F' = -65712,35 + 3,18 \cdot 10^5 \cdot v + 5112,5 \cdot v$$

$$F' = -65712,35 + 323112,5 \cdot v$$

$$F' = 0 \text{ при } v = 65712,35 / 323112,5 = 0,2034$$

Минимум при скорости 0,2034 м/с

Точка минимума при  $v = 0,2034$  м/с

$$F = 14507,7 - 65712,35 \cdot 0,2034 - 439,168 \cdot \gamma + 1,59 \cdot 10^5 \cdot 0,2034^2 + 204,5 \cdot 0,2034 \cdot \gamma + 7,907 \cdot \gamma^2$$

$$F' = -397,57 + 15,814 \cdot \gamma$$

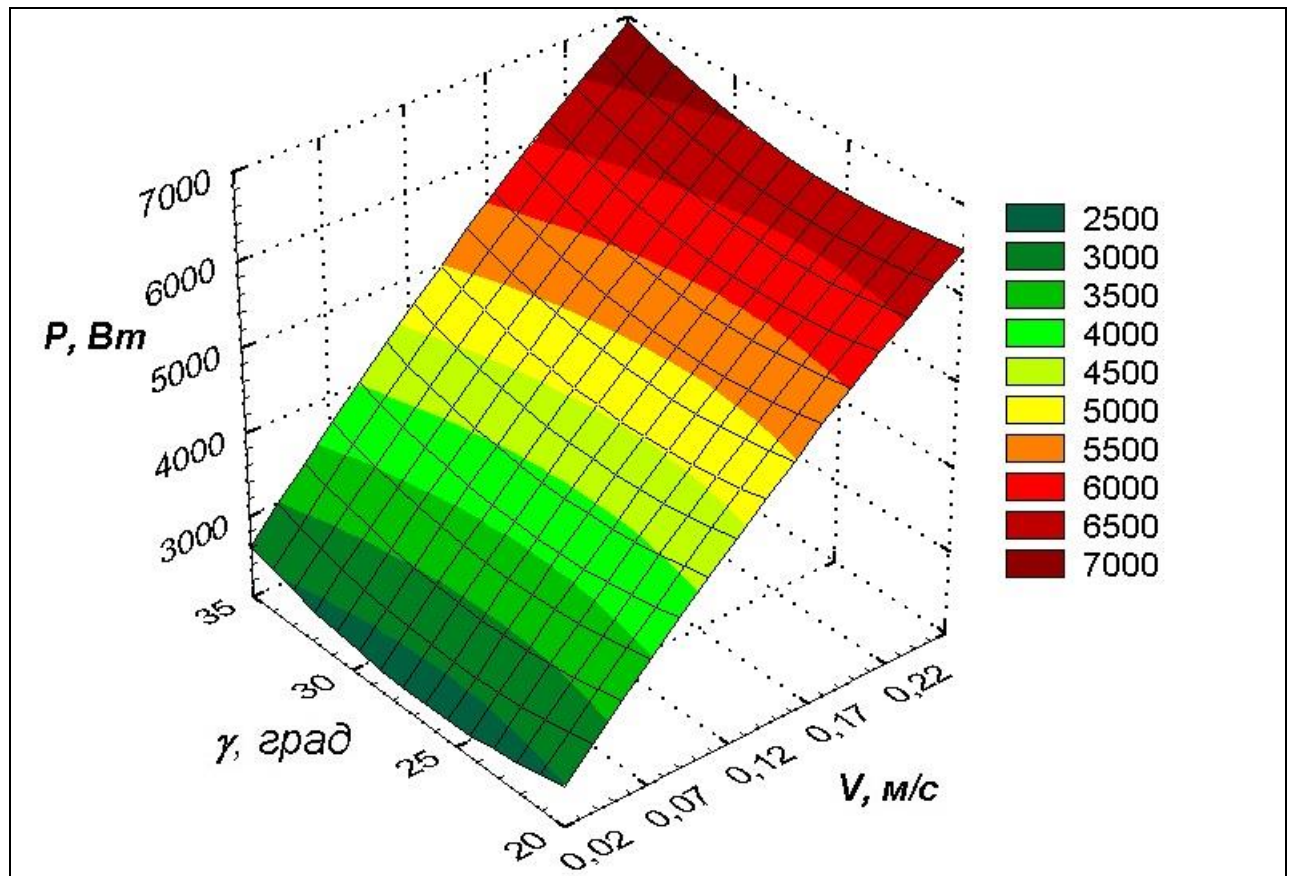
$$F' = 0 \text{ при } \gamma = 25,14^\circ$$

Минимум при угле 25,14°

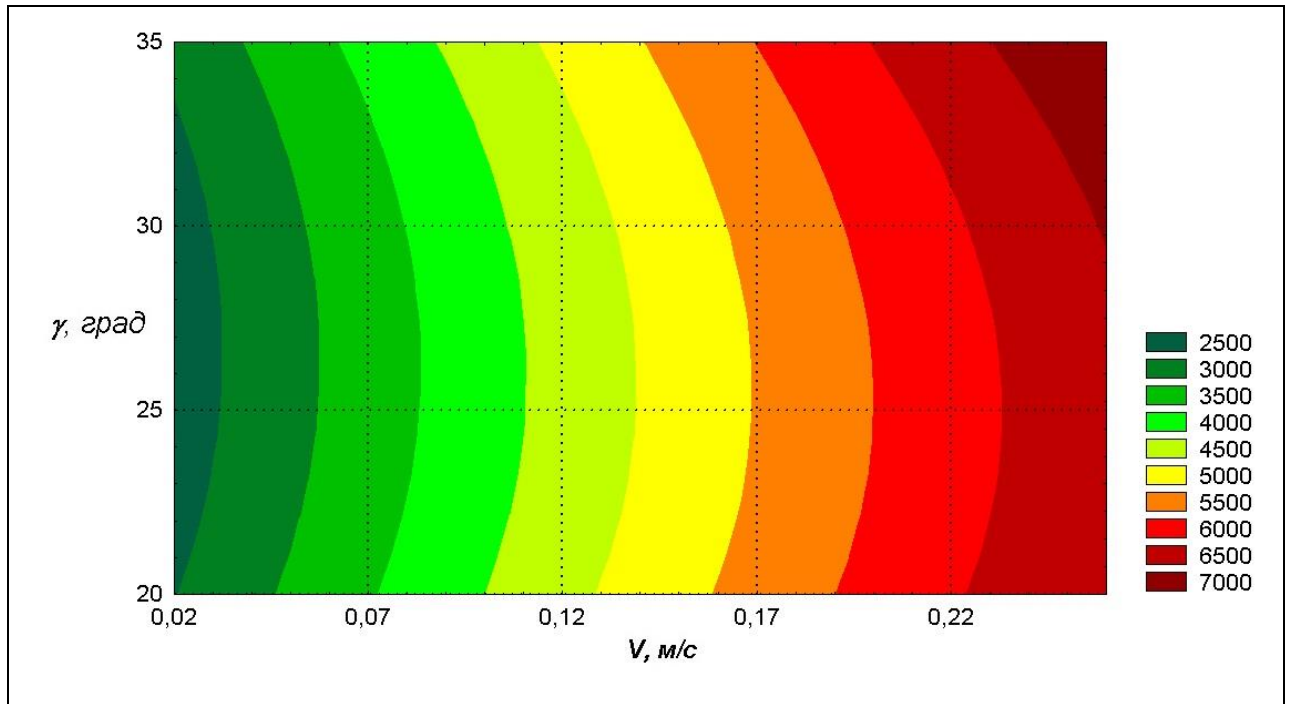
Результаты обработки:

3.  $P$ , Вт от  $\gamma$ , град и  $v$ , м/с

$v$ , м/с	$\gamma$ , град	$P$ , Вт
0,05	20	3096
0,05	25	2979
0,05	30	2801
0,05	35	3097
0,11	20	4189
0,11	25	4073
0,11	30	4161
0,11	35	4690
0,17	20	4950
0,17	25	4921
0,17	30	5007
0,17	35	5549
0,23	20	6231
0,23	25	6063
0,23	30	6052
0,23	35	6430







$$P = 5740,316 + 18869,3 \cdot v - 291,654 \cdot \gamma - 13732,64 \cdot v^2 + 85,833 \cdot v \cdot \gamma + 5,438 \cdot \gamma^2$$

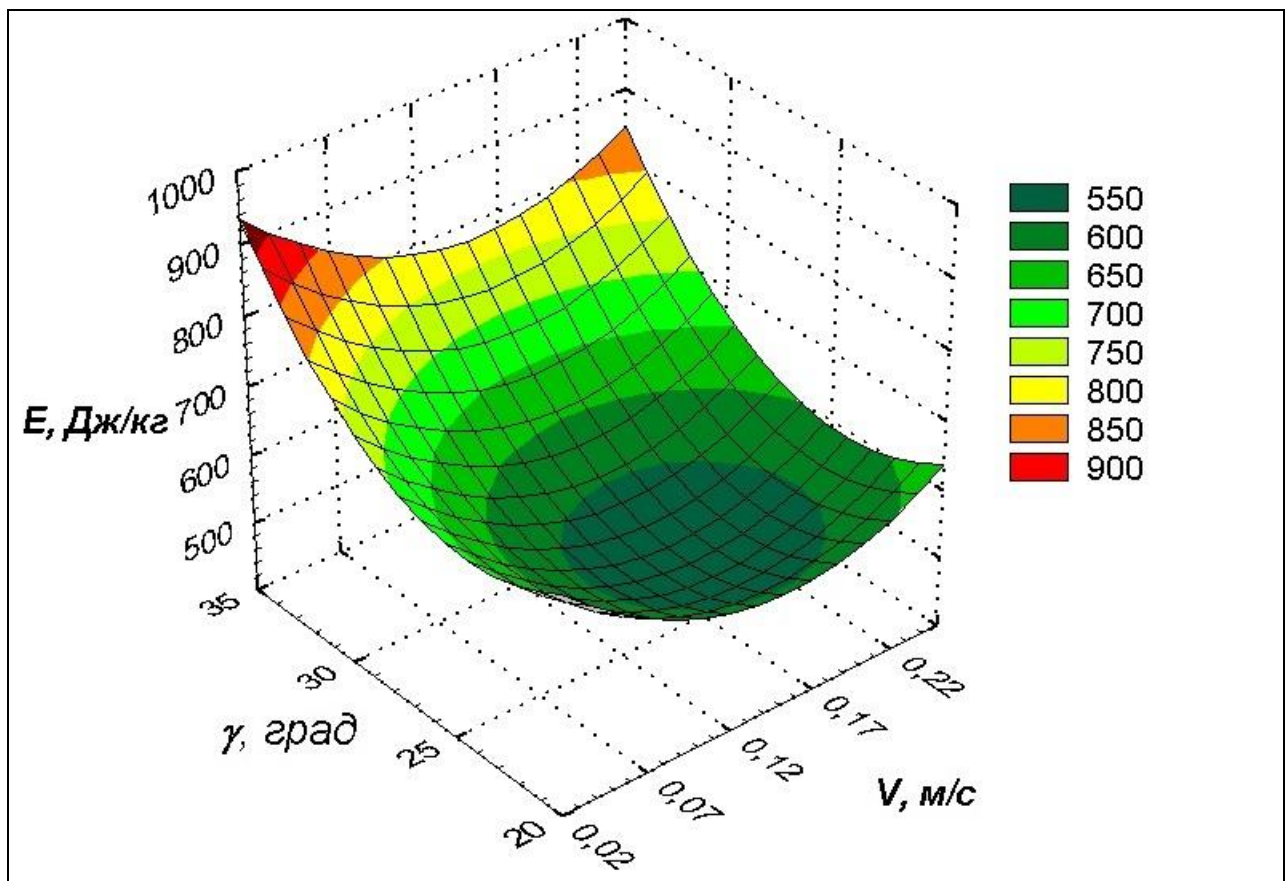
R=	0,9944	Корреляция между вычисленными и опытными данными
R <sup>2</sup> =	0,9888	достоверность (очень высокая)
s=	125,57	среднеквадратичное (стандартное) отклонение

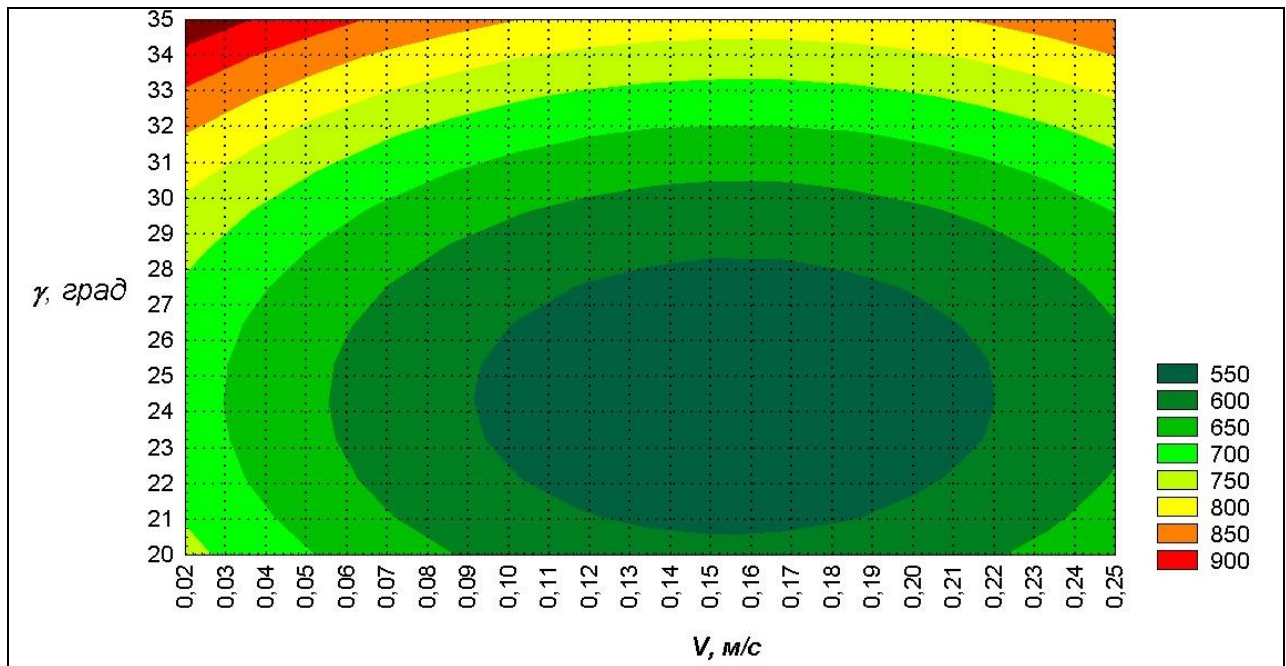
Оптимума нет

Результаты обработки:

4.  $E$ , Дж/кг от  $\gamma$ , град и  $v$ , м/с

$v$ , м/с	$\gamma$ , град	$E$ , Дж/кг
0,05	20	645
0,05	25	608
0,05	30	667
0,05	35	885
0,11	20	590
0,11	25	558
0,11	30	612
0,11	35	795
0,17	20	550
0,17	25	518
0,17	30	569
0,17	35	760
0,23	20	605
0,23	25	572
0,23	30	624
0,23	35	835





$$\{E = 2107,39 - 2563,416 \cdot v - 114,021 \cdot \gamma + 8489,583 \cdot v^2 - 3,3 \cdot v \cdot \gamma + 2,342 \cdot \gamma^2\}$$

$$E = 2107,39 - 2563,416 \cdot v - 114,021 \cdot \gamma + 8489,583 \cdot v^2 - 3,3 \cdot v \cdot \gamma + 2,342 \cdot \gamma^2$$

R=	0,993	Корреляция между вычисленными и опытными данными
R <sup>2</sup> =	0,986	достоверность (очень высокая)
s=	12,569	среднеквадратичное (стандартное) отклонение

Точка минимума при  $\gamma = 24,4^\circ$

$$E = 2107,39 - 2563,416 \cdot v - 114,021 \cdot 24,4 + 8489,583 \cdot v^2 - 3,3 \cdot v \cdot 24,4 + 2,342 \cdot 24,4^2$$

$$E' = 16979 \cdot v - 2563,416 - 80,52$$

$$E' = 16979 \cdot v - 2643,9$$

$$E' = 0 \text{ при } v = 2643,9 / 16979 = 0,1557$$

Минимум при скорости 0,1557 м/с

Точка минимума при  $v = 0,1557$  м/с

$$E = 2107,39 - 2563,416 \cdot 0,1557 - 114,021 \cdot \gamma + 8489,583 \cdot 0,1557^2 - 3,3 \cdot 0,1557 \cdot \gamma + 2,342 \cdot \gamma^2$$

$$E = -114,021 \cdot \gamma - 3,3 \cdot 0,1557 \cdot \gamma + 2,342 \cdot \gamma^2$$

$$E' = 4,684 \cdot \gamma - 114,021 + 3,3 \cdot 0,1557$$

$$E' = 4,684 \cdot \gamma - 113,51$$

$$E' = 0 \text{ при } \gamma = 113,51 / 4,684 = 24,234^\circ$$

Минимум при угле 24,234°

## РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



## ПАТЕНТ

НА ИЗОБРЕТЕНИЕ

№ 2621041

**Прицепная машина для удаления и погрузки почвы в теплицах**

Патентообладатель: **Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Саратовский государственный аграрный университет им. Н.И. Вавилова" (RU)**

Авторы: **Павлов Павел Иванович (RU), Везилов Александр Олегович (RU), Левченко Галина Викторовна (RU), Ракутина Анастасия Владимировна (RU)**

Заявка № **2016100090**

Приоритет изобретения **11 января 2016 г.**

Дата государственной регистрации в Государственном реестре изобретений Российской Федерации **31 мая 2017 г.**

Срок действия исключительного права на изобретение истекает **11 января 2036 г.**

Руководитель Федеральной службы по интеллектуальной собственности

Г.П. Излиев



РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

(19) **RU** (11) **2 621 041**<sup>(13)</sup> **C1**

(51) МПК  
*B62D 63/00* (2006.01)  
*B65G 67/00* (2006.01)  
*E02F 3/60* (2006.01)  
*A01D 93/00* (2009.01)

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
 ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

**(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ**

(21)(22) Заявка: 2016100090, 11.01.2016

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:  
11.01.2016

Дата регистрации:  
31.05.2017

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 11.01.2016

(45) Опубликовано: 31.05.2017 Бюл. № 16

Адрес для переписки:

410012, обл. Саратовская, г. Саратов, 1, ФГБОУ  
 ВО "Саратовский ГАУ", патентный отдел

(72) Автор(ы):

Павлов Павел Иванович (RU),  
 Везилов Александр Олегович (RU),  
 Левченко Галина Викторовна (RU),  
 Ракутина Анастасия Владимировна (RU)

(73) Патентообладатель(и):

Федеральное государственное бюджетное  
 образовательное учреждение высшего  
 образования "Саратовский государственный  
 аграрный университет им. Н.И. Вавилова"  
 (RU)

(56) Список документов, цитированных в отчете  
 о поиске: SU 606795 A1, 15.05.1978. SU 204742  
 A1, 20.10.1967. SU 163465 A1, 22.06.1964. BR  
 201001464 A2, 27.12.2011.

(54) Прицепная машина для удаления и погрузки почвы в теплицах

(57) Реферат:

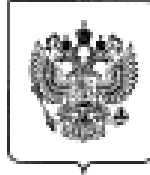
Изобретение относится к сельскохозяйственному машиностроению. Машина содержит несущую раму, транспортер, ковш, тяги и механизм привода. Транспортер расположен сзади ковша нижней частью за кромкой днища ковша. Ковш соединен с транспортером посредством нижних и верхних

тяг. Механизмы навески и привода закреплены на верхней стенке ковша, причем механизм навески - на передней части, а механизм привода - на задней части верхней стенки ковша. Обеспечивается эффективное удаление использованного почвенного слоя в условиях ограниченного пространства теплиц. 1 ил.

RU 2 6 2 1 0 4 1 C 1

RU 2 6 2 1 0 4 1 C 1

RUSSIAN FEDERATION

FEDERAL SERVICE  
FOR INTELLECTUAL PROPERTY(19) **RU** (11) **2 621 041**<sup>(13)</sup> **C1**(51) Int. Cl.  
*B62D 63/00* (2006.01)  
*B62D 67/00* (2006.01)  
*E02F 3/60* (2006.01)  
*A01D 93/00* (2009.01)(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(21)(22) Application: 2016100090, 11.01.2016

(24) Effective date for property rights:  
11.01.2016Registration date:  
31.05.2017Priority:  
(22) Date of filing: 11.01.2016

(45) Date of publication: 31.05.2017 Bull. № 16

Mail address:  
410012, obl. Saratovskaya, g. Saratov, I, FGBOU  
VO "Saratovskij GAU", patentnyj otdel

(72) Inventor(s):

Pavlov Pavel Ivanovich (RU),  
Vozirov Aleksandr Olegovich (RU),  
Levchenko Galina Viktorovna (RU),  
Rakutina Anastasiya Vladimirovna (RU)

(73) Proprietor(s):

Federalnoe gosudarstvennoe byudzhetnoe  
obrazovatelnoe uchrezhdenie vysshego  
obrazovaniya "Saratovskij gosudarstvennyj  
agrarnyj universitet im. N.I. Vavilova" (RU)(54) **TRAILER MACHINE FOR REMOVING AND LOADING SOIL IN GREENHOUSES**

(57) Abstract:

FIELD: agriculture.

SUBSTANCE: machine contains a support frame, a conveyor, a bucket, links and a drive mechanism. The conveyor is located behind the bucket, with its bottom part behind the bucket bottom edge. The bucket is connected to the conveyor by means of the lower and upper links. The hinge and drive mechanisms are fixed

to the upper bucket wall, wherein the hinge mechanism is fixed at the front part, and the drive mechanism - at the rear part of the upper bucket wall.

EFFECT: effective removal of used soil layer in conditions of limited space of greenhouses.

1 dwg

RU 2 6 2 1 0 4 1 C 1

RU 2 6 2 1 0 4 1 C 1

RU 2 621 041 C1

Изобретение относится к сельскохозяйственному машиностроению и может быть использовано в тепличном земледелии.

Из проведенного патентного поиска аналогов предлагаемой конструкции, относящейся к сельскохозяйственному машиностроению, а именно к использованию в тепличном земледелии, не найдено.

Однако известна самоходная погрузочная машина (патент РФ № 2298102, МПК E21 F13/00; E21 D9/12, опубл 27.04.2007 г., бюл. №12) для работ в горных выработках, содержащая несущую раму с двигателями рельсового типа, закрепленные на раме кабину оператора, транспортер с погрузчиком, оснащенный зубчатым ковшом, взаимодействующим со штоками гидроцилиндров его привода. Транспортер в загрузочной зоне расположен асимметрично относительно продольной оси машины, а кабина оператора смещена в противоположную сторону относительно транспортера. При этом несущая рама снабжена поворотной в горизонтальной плоскости изогнутой рамкой, на которой закреплены корпуса гидроцилиндров ковша погрузчика, а ковш снабжен траверсами, одна опора которых связана с корпусом соответствующего гидроцилиндра, а другая - с его штоком. Ковш дополнительно снабжен тягами, шарнирно связанными с ним одним своим концом, а другим - с поворотной изогнутой рамкой.

Данная самоходная погрузочная машина не может быть использована в теплицах из-за больших размеров и несоответствия условиям применения.

Технической задачей предлагаемого изобретения является удаление и погрузка почвы и почвенных смесей в теплицах.

Техническая задача решается в прицепной машине для удаления и погрузки почвы в теплицах, содержащей несущую раму, транспортер, ковш, тяги, механизм навески и механизм привода, при этом транспортер расположен снизу ковша нижней частью за кромкой днища ковша, ковш соединен с транспортером посредством нижних и верхних тяг, а механизмы навески и привода закреплены на верхней стенке ковша, причем механизм навески - на передней части, а механизм привода - на задней части верхней стенки ковша.

Отличием от прототипа предлагаемой конструкции является то, что транспортер расположен нижней частью за задней кромкой днища ковша, а ковш соединен с транспортером посредством нижних и верхних тяг. Также отличием от прототипа является расположение механизмов навески и привода на верхней стенке ковша, причем механизм навески расположен на передней части, а механизм привода - на задней части верхней стенки ковша.

На фиг. 1 представлен общий вид прицепной машины для удаления и погрузки почвы в теплицах.

Прицепная машина для удаления и погрузки почвы в теплицах содержит несущую раму 1, транспортер 2, ковш 3, механизм навески 4 и механизм привода 5, нижние 6 и верхние 7 тяги. 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 8 ковша 3. Механизм навески закреплен на передней части, а механизм привода - на задней части верхней стенки ковша. Такое расположение механизмов навески и привода позволяет уменьшить габариты машины, сделать ее более компактной, что необходимо при работе в условиях теплиц. Транспортер расположен снизу ковша, нижней частью за кромкой днища ковша, для обеспечения захвата поступающей от ковша массы почвы.

Работает прицепная машина для удаления и погрузки почвы в теплицах следующим образом. При движении машины вслед за трактором тяговое усилие составным частям

RU 2 621 041 C1

передается за счет несущей рамы 1. Ковш 3 внедряется в слой почвы, расположенный на поверхности теплицы. По днцу ковша отделенный слой почвы движется к транспортеру 2, который жестко соединен с ковшом посредством нижних 6 и верхних 7 тяг. Транспортер при движении опирается на несущую раму 1 и приводится в движение механизмом привода 5. Отделенный ковшом 3 слой почвы попадает на транспортер 2 и далее перемещается им в транспортное средство. Поскольку нижняя часть транспортера расположена за задней кромкой ковша, вся почва, отделенная ковшом, попадает на транспортер. Расположение механизма навески 4 и механизма привода 5 на верхней стенке 8 ковша 1 способствует компактности машины.

Благодаря такому устройству машина эффективно удаляет использованный почвенный слой в условиях ограниченного пространства теплиц.

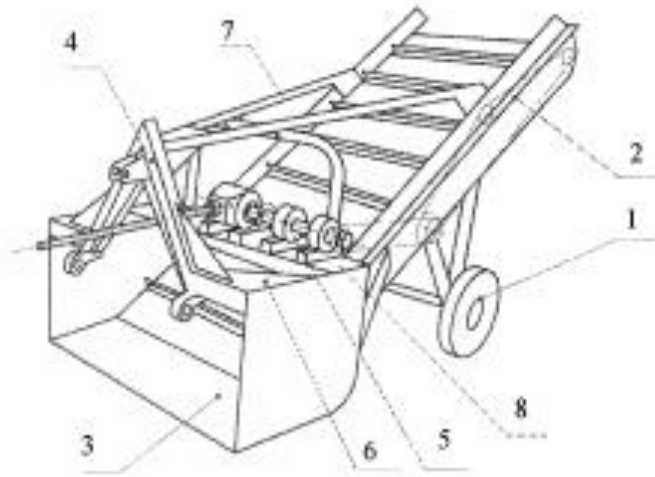
(57) Формула изобретения

Прицепная машина для удаления и погрузки почвы в теплицах, содержащая несущую раму, транспортер, ковш, тяги и механизм привода, отличающаяся тем, что транспортер расположен снизу ковша нижней частью за кромкой днца ковша, при этом ковш соединен с транспортером посредством нижних и верхних тяг, а механизмы навески и привода закреплены на верхней стенке ковша, причем механизм навески - на передней части, а механизм привода - на задней части верхней стенки ковша.



RU 2621041 C1

1



Фиг. 1



**АКТ**  
**хозяйственных испытаний машины для удаления и погрузки**  
**тепличной почвы**

Комиссия в составе: председателя комиссии, главного агронома Громова Р.С. и членов комиссии: главного инженера Медведева С.Л., тракториста Шамаева Е.А., профессора Павлова П.И., аспиранта Левченко А.В., кандидата технических наук Везирова А.О. составила настоящий акт на хозяйственные испытания и производственную проверку разработанного на кафедре «Математика, механика и инженерная графика» ФГБОУ ВО «Саратовский государственный аграрный университет им. Н.И. Вавилова» опытного образца машины для удаления и погрузки почвы из теплиц.

Испытания и производственная проверка опытного образца машины для удаления и погрузки тепличной почвы проводились в период с 17 мая по 17 августа 2021 года.

При испытании машины для удаления и погрузки тепличной почвы, получены следующие показатели:

№	Параметры	Размерность	Значение
1.	Производительность за 1 час чистого времени	т/ч	59
2.	Производительность за 1 час сменного времени	т/ч (кг/с)	41,3
3.	Приводная мощность	Вт	7419
4.	Энергоёмкость	Дж/кг	588
5.	Усилие для перемещения машины	Н	5958

По результатам производственных испытаний комиссия пришла к выводу, что предлагаемую конструкцию навесной машины, включающей рабочий орган напорного действия и отгрузочный транспортёр, рекомендовано использовать в тепличных хозяйствах.

Подписи:

**Председатель комиссии:**

Главный агроном



Громов Р.С.

**Члены комиссии:**

Главный инженер



Медведев С.Л.

Тракторист



Шамаев Е.А.

Профессор



Павлов П.И.

Аспирант




Левченко А.В.

Кандидата технических наук



Везиров А.О.

«УТВЕРЖДАЮ»  
 Генеральный директор  
 АО «Совхоз-Весна»  
 Саратовской области  
 \_\_\_\_\_ А.А. Решетов



### АКТ

#### внедрения законченной научно-исследовательской работы

Мы, нижеподписавшиеся, генеральный директор АО «Совхоз-Весна» Саратовской области Решетов А.А. и представитель ФГБОУ ВО «Саратовский государственный аграрный университет им. Н.И. Вавилова», исполнитель работ аспирант Левченко А.В. составили настоящий акт в том, что результаты научно-исследовательской и опытно-конструкторской работы на тему: «Обоснование параметров и разработка машины для удаления и погрузки почвы из теплиц», выполненной на кафедре «Математика, механика и инженерная графика», ФГБОУ ВО Саратовский ГАУ, внедрены в АО «Совхоз-Весна» Саратовской области путем использования в течение трех месяцев 2021 года разработанной по результатам исследований машины для удаления и погрузки почвы из теплиц.

Использование машины для удаления и погрузки тепличной почвы позволило повысить механизацию процесса удаления санитарного слоя в теплице, сократив применение ручного труда при удалении тепличной почвы, что дало возможность предприятию получить годовой экономический эффект в размере 3819600 рублей.

Машину для удаления и погрузки тепличной почвы следует рекомендовать к внедрению в хозяйствах, занимающихся выращиванием овощей и других культур в условиях теплиц.

Исполнитель работ

 \_\_\_\_\_ А.В. Левченко

Генеральный директор  
 АО «Совхоз-Весна»

\_\_\_\_\_ А.А. Решетов

