

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

«САРАТОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ГЕНЕТИКИ,
БИОТЕХНОЛОГИИ И ИНЖЕНЕРИИ имени Н.И. ВАВИЛОВА»

На правах рукописи

ВЕЗИРОВ Александр Олегович

**НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ ПРОБЛЕМЫ
РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЯ В ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССАХ
ПРИГОТОВЛЕНИЯ И ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТЕПЛИЧНОГО ГРУНТА**

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

ДИССЕРТАЦИЯ

на соискание ученой степени доктора технических наук

Научный консультант:

доктор технических наук, профессор

Павлов Павел Иванович

Саратов – 2023

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	6
1. СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА, ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЙ	14
1.1. Способы выращивания растений в тепличном производстве	14
1.2. Виды и состав тепличных грунтов	19
1.3. Анализ существующего технологического процесса приготовления и использования тепличного грунта.....	26
1.4. Анализ существующих технических средств, применяемых для приготовления и использования тепличного грунта	33
1.4.1 Анализ существующих технических средств, применяемых для укладки компонентов тепличного грунта.....	33
1.4.2 Анализ существующих технических средств, применяемых для смешивания компонентов и погрузки в транспортное средство.....	49
1.4.3 Анализ существующих технических средств, применяемых для удаления тепличного грунта после его использования	60
1.5. Обзор научных исследований по совершенствованию технологических процессов приготовления и использования тепличного грунта	65
1.6. Цель и задачи исследований	82
2. ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ПРИГОТОВЛЕНИЯ И ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТЕПЛИЧНОГО ГРУНТА	84
2.1 Предлагаемая технологическая схема приготовления и использования тепличного грунта	85
2.2 Общая модель эффективности технологического процесса	88
2.3 Сравнительная эффективность предлагаемой и существующей технологии .	90
2.4 Конструктивно-технологические схемы машин для выполнения технологических операций	91
2.4.1 Предлагаемая конструктивно-технологическая схема комбинированного укладчика	91
2.4.2 Параметры рабочих органов комбинированного укладчика	93

2.4.3 Предлагаемая конструктивно-технологическая схема погрузчика-смесителя тепличного грунта	95
2.4.4 Параметры рабочих органов погрузчика-смесителя тепличного грунта	98
2.4.5 Предлагаемая конструктивно-технологическая схема машины для удаления и погрузки тепличного грунта	100
2.4.6 Параметры рабочих органов машины для удаления и погрузки тепличного грунта.....	101
2.5 Исследование процесса взаимодействия рабочих органов технологических машин с тепличным грунтом и его компонентами	102
2.5.1 Взаимодействие скребков цепного транспортера комбинированного укладчика с компонентами тепличного грунта	102
2.5.2 Взаимодействие планок дозирующего барабана комбинированного укладчика с компонентами тепличного грунта.....	106
2.5.3 Взаимодействие шнекофрезерного питателя погрузчика-смесителя с компонентами тепличного грунта	109
2.5.4 Динамический анализ взаимодействия рабочих органов машины для удаления и погрузки с тепличным грунтом и дифференциальные уравнения регрессии движения частиц	114
2.5.5 Суммарное сопротивление движению машины для удаления и погрузки в технологическом процессе удаления тепличного грунта	121
2.6 Производительность технологических машин	128
2.6.1 Производительность комбинированного укладчика.....	128
2.6.2 Производительность погрузчика-смесителя	130
2.6.3 Производительность машины для удаления и погрузки грунта	136
2.7 Мощность привода рабочих органов технологических машин	139
2.7.1 Мощность привода комбинированного укладчика	139
2.7.2 Мощность привода погрузчика-смесителя.....	140
2.7.3 Мощность привода машины для удаления и погрузки грунта.....	142
2.8. Энергоемкость	144
2.7 Выводы	145

3. ПРОГРАММА И МЕТОДЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ	147
3.1. Постановка задач экспериментальных исследований.....	147
3.2. Методы исследования физико-механических свойств тепличного грунта и его компонентов.....	149
3.3. Методы исследования технологических свойств тепличного грунта	151
3.4 Описание экспериментальных образцов технологических машин	157
3.4.1 Комбинированный укладчик компонентов тепличного грунта	157
3.4.2 Погрузчик-смеситель тепличного грунта	160
3.4.3 Машина для удаления и погрузки тепличного грунта	162
3.5. Программа и методы экспериментальных исследований.....	163
3.6. Оборудование для экспериментальных исследований. Последовательность проведения опытов.....	168
3.5 Выводы	174
4. РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ	176
4.1. Результаты исследований физико-механических и технологических свойств тепличного грунта и его компонентов	176
4.2. Результаты экспериментальных исследований технологических машин.....	178
4.2.1 Результаты исследований влияния конструктивно-режимных параметров на силовые характеристики взаимодействия рабочих органов машин с тепличным грунтом и его компонентами	180
4.2.2 Результаты исследований влияния конструктивно-режимных параметров на производительность технологических машин для работы с тепличным грунтом и его компонентами.....	189
4.2.3 Результаты исследований влияния конструктивно-режимных параметров на мощность привода технологических машин для работы с тепличным грунтом и его компонентами.....	201

4.2.4 Результаты исследований влияния конструктивно-режимных параметров на энергоемкость технологических машин для работы с тепличным грунтом и его компонентами	208
4.2.5 Результаты исследований влияния конструктивно-режимных параметров на критерии эффективности технологических машин для работы с тепличным грунтом и его компонентами	216
4.3. Сходимость результатов экспериментальных исследований с теоретическими положениями	227
4.4. Выводы	230
5. РЕЗУЛЬТАТЫ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ИСПЫТАНИЙ И ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА	233
5.1 Основные технологические показатели производственных испытаний.....	233
5.2 Техничко-экономическая оценка использования технических решений.....	240
5.3 Выводы	249
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	250
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	255
ПРИЛОЖЕНИЕ	290

ВВЕДЕНИЕ

Овощи являются важной составляющей рациона человека. Увеличение потребления овощей, как одного из неотъемлемых элементов разнообразного и сбалансированного рациона, является основой здорового питания человека. Именно по этой причине Генеральная Ассамблея ООН провозгласила 2021 год Международным годом овощей и фруктов [172].

В настоящее время жители Российской Федерации ежегодно потребляют 109 кг овощей на душу населения, что на 24% меньше нормы рекомендованной Минздравом России [298]. Объемы потребления свежих овощей в России увеличиваются на 1% ежегодно, и по прогнозам, достигнут 115 кг на душу населения в 2028 году. Такому росту способствует ежегодное увеличение объемов производства тепличных овощей [282].

Решающую роль в снабжении населения свежими овощами в течение года играет отрасль тепличного земледелия. Выращивание овощей в теплицах позволяет снизить влияние погодных условий на урожай и получать качественную продукцию в течение круглого года. Особенно это актуально для нашей страны, так как большая часть ее территории расположена в климатических зонах малопригодных для возделывания овощей в открытом грунте.

Существуют различные технологии выращивания растений в теплицах: малообъемная, гидропонная, аэропонная и самая распространенная – выращивание растений на тепличном грунте. Грунтовая культура, не смотря на её трудоёмкость, позволяет получать продукцию с более высокими вкусовыми качествами. Кроме того, именно такой способ выращивания полностью отвечает требованиям, которые согласуются с концепцией органического земледелия – возможность готовить тепличный грунт из компонентов естественного происхождения, совсем не используя искусственных материалов или сводя их использование к минимуму. Помимо приготовления тепличного грунта, серьезной технической проблемой является полное или частичное удаление из помещения теплицы слоя грунта уже «отработавшего» несколько культурооборотов – санитарного слоя. На современном этапе развития отрасли тепличного производства, предъявляется ряд агротех-

нических требований к тепличному грунту, и как следствие, для их выполнения, требуется разработка новых технологий и технических средств.

Низкая производительность и высокая энергоемкость процессов приготовления и использования тепличного грунта, а также недостаточное его качество, связано с отсутствием специализированных технологических машин для использования в теплицах. Используемые в тепличном производстве машины из других областей сельскохозяйственного производства имеют параметры, не соответствующие условиям применения в теплицах и физико-механическим свойствам тепличных грунтов. В результате приготовление и использование тепличного грунта в необходимом количестве требует больших материальных и трудовых затрат. Это приводит к значительному росту себестоимости производимой продукции, а низкое качество тепличного грунта приводит к снижению и недобору урожая.

Снижения затрат на приготовление и использование тепличного грунта можно добиться путем разработки новой технологической схемы с одновременным выполнением отдельных процессов, а также обоснованием параметров экономичных рабочих органов технологических машин с требуемой для теплиц производительностью, что является актуальной проблемой, решение которой имеет важное народно-хозяйственное значение.

Степень разработанности темы. Исследования, направленные на оптимизацию процессов разбрасывания и внесения различных органических и минеральных удобрений. Такие исследования выполняли Г. П. Варламов, Н. М. Марченко, Г.И. Личман, В.Д. Хмыров, В.В. Новиков, В.В. Коновалов, В.П. Терюшков, С.И. Щербаков, Ю. Е. Владимирский, А. А. Каликинский, Я. П. Лобачевский, К. Д. Есхожин, К. М. Тлеумбетов и др.

Ряд работ посвящены изучению теории работы погрузчиков органических удобрений и почвообработке. К ним относятся работы А.А. Артюшина, И.Б. Борисенко, В.М. Бойкова, В.Ф. Дубинина, Е.Е. Демина, А.А. Ковалева, Н.Г. Ковалева, Н.К. Линника, Г.В. Левченко, И.И. Лукьяненко, В.А. Милюткина, И.М. Па-

нова, Н.В. Павлова, П.И. Павлова, С.В. Старцева, Н.М. Соколова, Р.Р. Хакимзянова и др.

Исследования в области технологий и средств механизации тепличного производства занимались и занимаются Л.А. Девочкина, В.П. Доронин, В.А. Корбут, Ю.Н. Липов, А.Ю. Липов, Г.А. Микаелян, Р. Дж. Нурметов, С.А. Чернов.

Перечисленные учёные внесли большой вклад в изучение теории и практику создания технических средств для обеспечения механизации процессов в сельскохозяйственном производстве. Однако стоит отметить, что рабочие органы существующих машин адаптированы для работы в открытом грунте. Данное обстоятельство не позволяет использовать их в полной мере в тепличном производстве. В частности, требует дальнейшего исследования технологический процесс укладки исходных компонентов грунта, его смешивание и в дальнейшем, удаление санитарного слоя из теплицы.

Данная работа дополняет и расширяет существующие исследования, предлагая новые машины для приготовления и использования тепличного грунта, обеспечивающие повышение качественных показателей работы и получение тепличного грунта, соответствующего агротехническим требованиям.

Научная гипотеза. Повышение эффективности приготовления и использования тепличного грунта за счет разработки ресурсосберегающей технологии и технических средств, обеспечивающих совмещение и одновременное выполнение операций и имеющих обоснованные рациональные параметры, соответствующие условиям применения.

Цель работы. Повышение производительности и снижение энергетических затрат на приготовление и использование тепличного грунта путем разработки новой ресурсосберегающей технологии, технических средств и обоснования параметров их рабочих органов.

Задачи исследования:

1. Провести анализ существующих технологических схем приготовления и использования тепличного грунта и технических средств, применяемых для его приготовления и определить причины их недостаточной эффективности.

2. Разработать ресурсосберегающую технологию, основанную на применении новых технических средств для приготовления, укладки и удаления грунта, а также модель для оценки ее эффективности.

3. Обосновать конструктивно-технологические схемы новых технических средств, существенно повышающих эффективность процессов приготовления и использования тепличного грунта.

4. Исследовать процессы взаимодействия рабочих органов технических средств с компонентами тепличного грунта и установить закономерности влияния физико-механических свойств, конструктивных параметров и скоростных режимов на производительность, мощность, энергоемкость и качественные характеристики тепличного грунта; получить аналитические выражения по определению производительности, мощности и энергоемкости рабочих органов.

5. Получить экспериментальные зависимости и описывающие их вероятностно-статистические модели производительности, энергоемкости и технологических показателей тепличного грунта от конструктивных и режимных параметров для компонентов с различными физико-механическими свойствами.

6. Дать технико-экономическую оценку эффективности предлагаемой технологии и использования технических средств с обоснованными параметрами рабочих органов в условиях тепличного производства.

Объект исследования. Технологический процесс, включающий в себя операции смешивания компонентов с одновременной погрузкой, а также укладку и удаление тепличного грунта.

Предмет исследования. Взаимосвязь параметров технологических машин для приготовления и использования тепличного грунта и их рабочих органов с производительностью, потребляемой мощностью, энергоемкостью и качественными показателями.

Научная проблема. Отсутствие системного подхода и научного обоснования процессов и параметров рабочих органов технологических машин для приготовления и использования тепличного грунта.

Научная новизна работы состоит в следующем:

– теоретическое и экспериментальное исследование взаимодействия рабочих органов комбинированного укладчика, погрузчика-смесителя и машины для удаления тепличного грунта, определение рациональных параметров производительности и энергоемкости технологических процессов; модель оценки эффективности предлагаемой технологии приготовления и использования тепличного грунта;

– аналитические выражения для силовых взаимодействий рабочих органов предлагаемых технических средств с тепличным грунтом и его компонентами; мощности для привода; производительности и энергоемкости смешивания с одновременной погрузкой, укладки тепличного грунта и последующего его удаления, учитывающие физико-механические свойства тепличного грунта, способ воздействия и характер движения, конструктивные и режимные параметры;

– закономерности влияния конструктивно-режимных параметров дозирующих барабанов и цепного транспортера комбинированного укладчика, шнекофрезерного рабочего органа погрузчика-смесителя, ковша и отвала машины для удаления тепличного грунта на производительность и энергоемкость процессов смешивания с одновременной погрузкой, укладки и удаления тепличного грунта.

Новизна технических решений машин для работы с тепличным грунтом подтверждена патентами Российской Федерации на изобретение №2621041 и полезную модель №211840, №117906, №119337.

Практическая ценность. Результаты исследований позволяют решить актуальную проблему ресурсосбережения в процессе приготовления и использования тепличного грунта в растениеводстве защищенного грунта путем повышения производительности и снижения энергоемкости выполнения технологических операций за счет применения новых машин и рабочих органов.

Ценность для науки представляют полученные теоретические зависимости, позволяющие определить оптимальные конструктивные и режимные параметры, при которых значения производительности, приводной мощности и энер-

гоемкости принимают оптимальные значения, обеспечивая эффективность процессов приготовления и использования тепличного грунта. Практическая значимость работы состоит в разработке новых конструктивно-технологических схем машин, экспериментальном обосновании конструктивных и режимных параметров рабочих органов, а также в оценке результатов эффективности использования предлагаемых машин и определении оптимальных условий работы.

Методы исследования. Основу методической базы исследований составлял системный подход рассматривающий объект исследования как комплекс взаимосвязанных элементов. Экспериментальная часть включала методы лабораторно-полевых и производственных испытаний, а также теорию планирования эксперимента. Для интерпретации и анализа результатов исследований применялись методы математического моделирования, регрессионного анализа и графической визуализации, для чего использовался пакет прикладных компьютерных программ для обработки экспериментальных данных.

На защиту выносятся следующие **научные положения**:

– математические модели эффективности технологического процесса приготовления и использования тепличного грунта на основе системы критериев оптимизации – производительности, усилий взаимодействия, приводной мощности, энергоемкости как факторов, значимых для применяемых рабочих органов;

– механико-математическое обоснование параметров и режимов работы в соответствии с необходимой производительностью и минимальной энергоемкостью выполнения технологических операций предлагаемым комплексом машин для работы с тепличным грунтом: комбинированный укладчик, погрузчик-смеситель, машина для удаления тепличного грунта;

– экспериментальные вероятностно-статистические модели влияния конструктивно-режимных параметров рабочих органов: дозирующих барабанов и цепного транспортера комбинированного укладчика, шнекофрезерного рабочего органа погрузчика-смесителя, ковша и отвала машины для удаления тепличного грунта на производительность и энергоемкость технологического процесса смешивания, укладки и удаления тепличного грунта;

– результаты теоретической и экспериментальной оптимизации параметров комбинированного укладчика, погрузчика-смесителя, машины для удаления тепличного грунта.

Реализация результатов исследования. Эффективность предлагаемой технологии приготовления и использования грунта, а также технические характеристики технологических машин для выполнения операций по данной технологии подтверждены производственными испытаниями и внедрены в АО «Совхоз весна» (г. Саратов), ИП Шатько Л.А. – Ноябрьский садовый центр (г. Ноябрьск, ЯНАО), ООО «Агрофирма ПАРТНЕР» (г. Москва).

Разработана конструкторская документация на изготовление погрузчика-смесителя тепличного грунта и передана на сборочное производство (ООО «МК АС Трейд», Саратов).

АПРОБАЦИЯ РАБОТЫ. Степень достоверности результатов исследований обеспечена использованием общепризнанных методов исследований в области классической механики и математического анализа, точностью сертифицированных средств измерения параметров и сходимостью результатов экспериментальных и теоретических исследований.

Основные научные положения работы были доложены и одобрены на следующих научно-практических конференциях: «Интеллектуальные машинные технологии и техника для реализации государственной программы развития сельского хозяйства» (Москва, 2015); «Агропромышленный комплекс: состояние, проблемы, перспективы» (Пенза, 2020); «Актуальные проблемы науки и техники. Инноватика» (Уфа, 2020); XXXIV конференция им. В.В. Михайлова «Проблемы экономичности и эксплуатации автотракторной техники» (Саратов, 2021); «Агробиоинженерные инновации в сельском хозяйстве» (ВИМ, Москва, 2021); V конференция «Агробизнес, экологический инжиниринг и биотехнологии» – V International Scientific Conference on Agribusiness, Environmental Engineering and Biotechnologies – AGRITECH V-2021 (Красноярск, Волгоград, Бухара, 2021); «Ресурсосберегающие технологии и технические средства для производства продукции растениеводства и животноводства» (Пенза, 2022).

Результаты работы экспонировались на VI Саратовском салоне изобретений, инноваций и инвестиций в 2011 году. Проект «Погрузчик-смеситель тепличного грунта» был отмечен грантом ФГБУ «Фонд содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере» по программе «Участник молодежного научно-инновационного конкурса» («УМНИК») в результате которого, был заключен государственный контракт на выполнение НИОКР в 2011-2012 гг.

ПУБЛИКАЦИИ. По теме диссертационной работы опубликовано 38 печатных научных работ, в том числе 3 в перечне изданий, индексируемых в международной базе данных Scopus, 14 – в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных ВАК при Министерстве науки и высшего образования России, включая три статьи без соавторов. Получено три патента Российской Федерации на полезную модель и один на изобретение. Общий объем публикаций составил 12,75 печ. л., из них 7,3 печ. л. принадлежат лично автору.

СТРУКТУРА И ОБЪЕМ РАБОТЫ. Диссертация состоит из введения, пяти глав, списка литературы из 325 наименований, из которых 23 на иностранном языке. Работа изложена на 335 страницах, содержит 130 рисунков, 18 таблиц и 9 приложений.

В работе использованы материалы собственных исследований автора и результаты, полученные совместно с аспирантами, ныне кандидатами технических наук Дзюбаном И.Л., Мухиным Д.В., Левченко А.В.

ГЛАВА 1

СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА, ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЙ

1.1. Способы выращивания растений в тепличном производстве

Одним из важнейших направлений в современном развитии сельского хозяйства является тепличное производство. Явным преимуществом данного направления является возможность круглогодичного выращивания овощной продукции, пользующейся большим и постоянным спросом у населения.

В последнее десятилетие в Российской Федерации сложилась тенденция, указывающая на рост среднедушевого потребления продукции тепличного производства, в частности огурцов и томатов (рисунок 1.1) [240]. В период с 2017 года по 2019 год потребление на душу населения увеличилось более чем на 9% и достигло в среднем 1,8 кг тепличной овощной продукции в месяц [241].

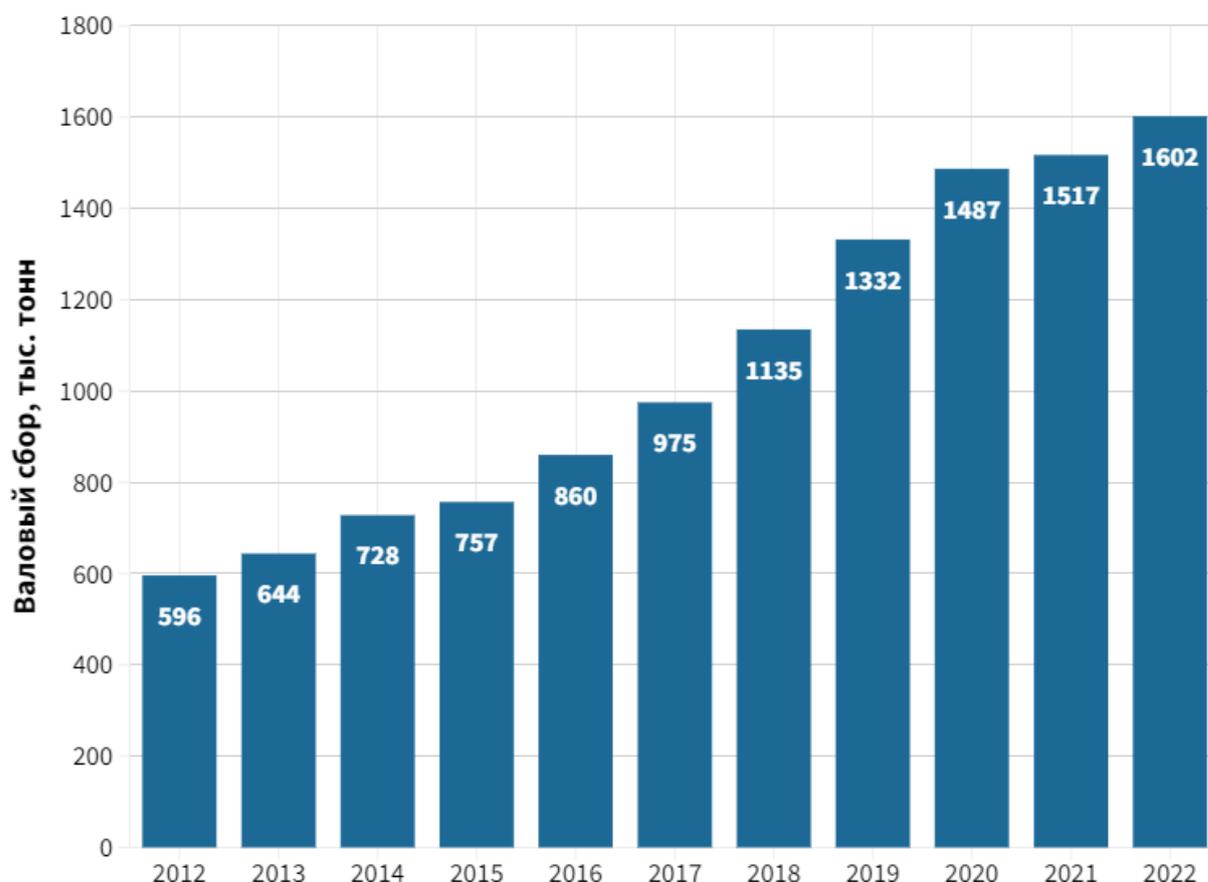


Рисунок 1.1 – Валовой сбор овощей защищенного грунта в промышленном секторе овощеводства России в 2012 – 2022 годах, тыс. тонн

По итогам 2020 года валовой сбор овощей закрытого грунта, в том числе в зимних теплицах составил 1,5 млн. тонн, что на 12% выше показателя 2019 года (1,33 млн. тонн). Таким образом, самообеспеченность свежими овощами, выращенными в отечественных теплицах во внесезонный период, увеличивается с 70% (8,7 кг/чел.) в 2019 году до 74% (9,6 кг/чел. из требуемых 13 кг/чел. согласно медицинским нормам) в 2020 году. Необходимо отметить, что уже в 2018-2019 годах граждане нашей страны потребляли в среднем 13,7-14,7 кг/чел. в год, а в 2020 году – 15,6 кг/чел. [238, 239].

Разница между потребляемым количеством овощей и выращенными в стране овощами покрывается за счет импорта овощной продукции из-за рубежа, что дает основания для прогноза положительного развития тепличной отрасли в России на ближайшие годы (рисунок 1.2) [239].

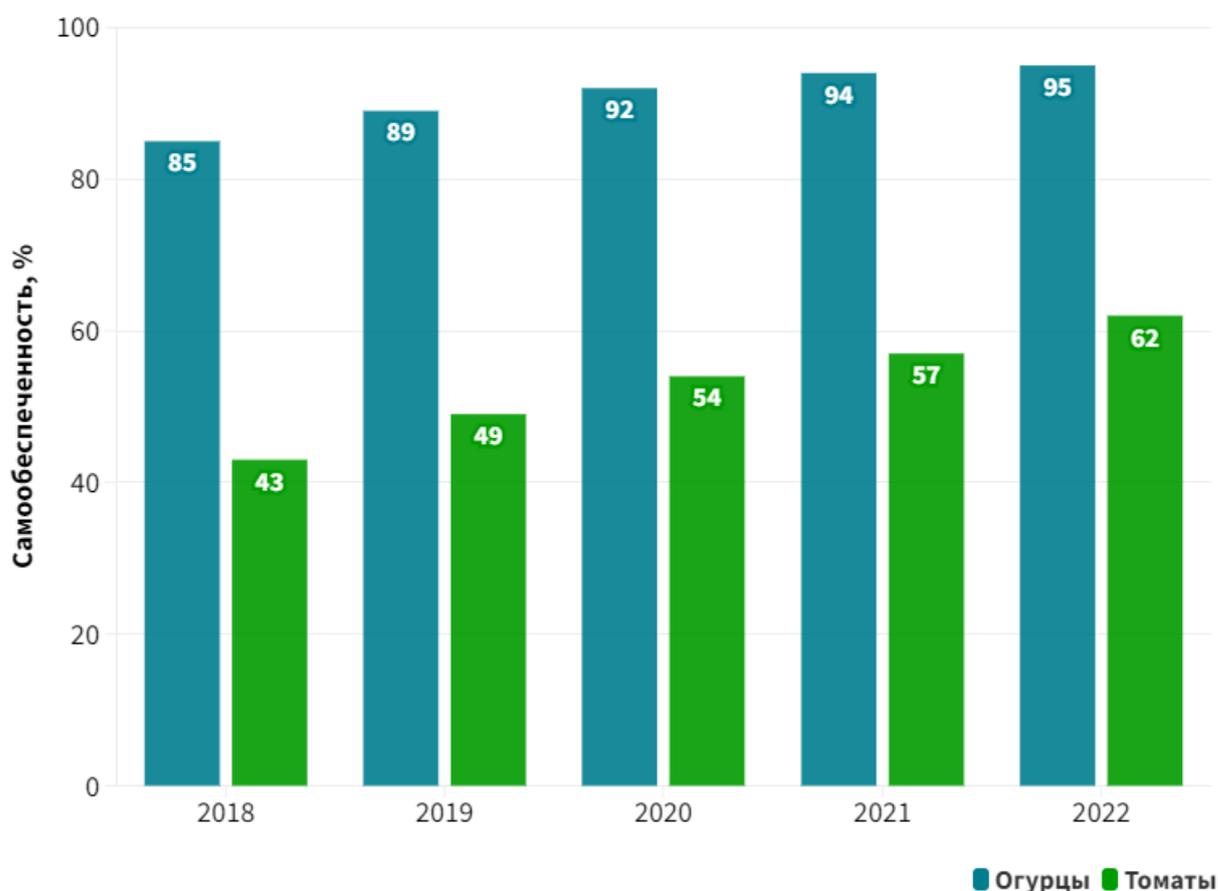


Рисунок 1.2 – Уровень самообеспеченности России огурцами и томатами, выращенными в защищенном грунте в 2018-2022 годах

Несмотря на большой покупательский спрос, рост производства тепличных овощей ограничен технологическими особенностями, связанными с искусственным созданием благоприятных условия для выращивания растений. В зимний период – обогрев и досвечивание; летом – дополнительная вентиляция и обеспечение благоприятных условий для газообменных процессов; вне сезона – контроль качества тепличного грунта, правильная дозировка удобрений, расчёт полива, защита растений от болезней и вредителей и т.д.

Помимо этих затрат, производители несут издержки, связанные с постройкой новых и содержанием уже введенных тепличных сооружений. По данным Росстата, площади теплиц в 2019 году существенно выросли по сравнению с предыдущим годом: на 22% (с 3,6 до 4,3 тыс. га) [225]. Этот рост связан в первую очередь с вводом новых теплиц, но в тоже время в нашей стране остаётся большой объем эксплуатируемых теплиц более ранних конструкций, где для выращивания растений используют тепличный грунт.

Поэтому для развития тепличной отрасли в нашей стране актуальным является совершенствование существующих и внедрение новых технологий и технических средств, целью которого является снижения затрат на производство продукции.

Существующие конструкции сооружений защищённого грунта, условно можно разделить на три обособленные группы, имеющие свои технологические особенности:

1. Парник – временное сооружение, выполненное в виде каркаса, поверх которого натянута полиэтиленовая пленка, либо другой подобный укрывной материал. Служит для краткосрочного предохранения растений от низких температур до наступления благоприятной погоды. Применяются преимущественно для выращивания рассады.

2. Весенние (сезонные) неотапливаемые теплицы – представляют собой каркасные сооружения больших размеров, чем парники. Каркас также покрыт одним слоем полимерного материала. Такая конструкция позволяет высаживать растения на постоянное место уже с ранней весны.

3. Зимние теплицы – каркасные арочные конструкции с многократным слоем утепления. Внешнее покрытие может быть выполнено из поликарбоната, но чаще используют стеклянное покрытие. Помещение теплицы автономно – в нем создается особый микроклимат за счет систем подогрева, охлаждения и циркуляции воздуха, а также освещения. В таких теплицах растения могут выращиваться круглый год [3].

Существующая структура тепличных площадей в России по состоянию на 2019 году представлена на рисунке 1.3 [273].

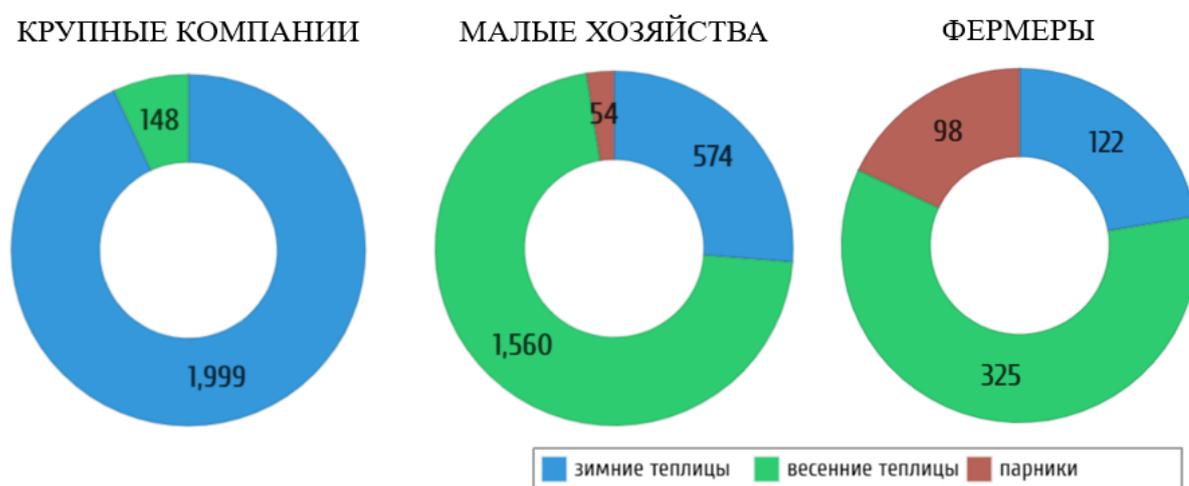


Рисунок 1.3 – Структура тепличных площадей в России в 2019 году, Га.

В зависимости от вида сооружения закрытого грунта выбирают наиболее подходящий способ выращивания, но наиболее распространены следующие способы: грунтовая культура и гидропонная культура.

Грунтовая культура – выращивание растений на искусственно приготовленном тепличном грунте состоящего преимущественно из естественных компонентов природного происхождения.

Гидропоника – выращивание растений без привычной почвы, в качестве корнеобитаемой среды используют инертные твердые субстраты (минеральная вата, кокосовые маты, щебень, перлит, керамзит и другие). При таком способе растения получают все необходимые микроэлементы из питательного раствора, подающегося к каждому растению [104, 266].

Оба этих способа получили широкое распространение. В последнее время, активно развивается гидропонная культура, но тут необходимо отметить, что сдерживающим фактором ее развития являются большие капитальные затраты на постройку сооружений и приобретение специализированного оборудования, превышающие затраты на выращивание по грунтовой технологии.

В ходе поисковых исследований получено представление о том, сколько гектаров закрытого грунта используется для выращивания растений по грунтовой технологии в нашей стране. Проведен анализ структуры (рисунок 1.4) зимних теплиц эксплуатируемых в настоящее время [269]. Практически половина из них (48%) или около 1700 гектар представляют собой теплицы 2 и 3 поколения, где преимущественно используется грунтовая технология и соответственно, требуются значительные объемы тепличного грунта [278].

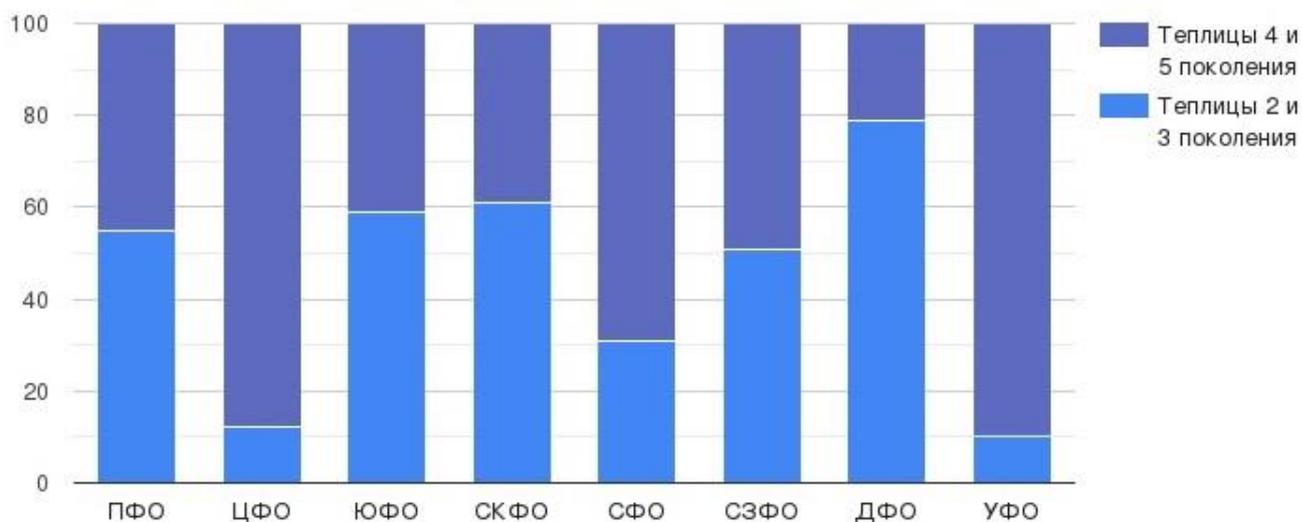


Рисунок 1.4 – Структура производственного фонда зимних теплиц в Российской Федерации по федеральным округам, %

В пользу грунтовой технологии говорит и качество получаемой продукции – овощи обладают более высокими вкусовыми качествами, богаты витаминами и содержат больше клетчатки и пектиновых веществ. Исследованиями, проведенными в Национальной академии наук Беларуси, установлено, что содержание в томатах клетчатки в два раза выше при выращивании на смеси верхового торфа и керамзита (4,78%), чем на гидропонике (2,37%) [21,22]. Поэтому, несмотря на широкое разви-

тие гидропоники, производство овощей по грунтовой культуре продолжает удерживать стабильные объемы производства.

Кроме того, выращивание сезонной рассады, цветочной продукции декоративного назначения, саженцев, различных видов зелени в отдельных емкостях, не может обходиться без применения тепличного грунта.

Таким образом, для получения обильных урожаев и высоких вкусовых качеств получаемой продукции, при выращивании растений по грунтовой технологии, особое место занимает качество приготовления и использования тепличного грунта.

1.2 Виды и состав тепличных грунтов

Выращивание растений в условиях защищенного грунта обуславливает особые требования, предъявляемые к условиям корневого питания растений, значительно отличающие их от открытого грунта (рисунок 1.4, 1.5) [233, 234].



Рисунок 1.4 – Общий вид процесса укладки типичного грунта

Вследствие интенсивной эксплуатации защитных сооружений, в течение года может смениться несколько овощных культур. Тепличные растения, по срав-

нению с растениями, выращенными в открытом грунте, дают урожай в 5-10 раз выше, а, следовательно, потребляют большее количество питательных веществ.



Рисунок 1.5 – Тепличный грунт с высаженной рассадой

Частые поливы способствуют вымыванию питательных веществ, а регулярные подкормки приводят к засолению грунта и появлению глеевого слоя, что в условиях ограниченного объема корнеобитаемой среды приводит к угнетению роста и развития растений. Таким образом, для достижения высоких и стабильных урожаев требуется приготовление специальных тепличных грунтов с требуемыми агрофизическими свойствами.

Тепличные грунты должны обладать плодородием, достаточной воздухоёмкостью и влагоёмкостью, высокой способностью удерживать питательные вещества и сохранять тепло, а также быть свободными от болезней и вредителей. Лучшими считаются грунты, имеющие нейтральную реакцию среды, в которой соотношение твердой, жидкой и газообразной фазы составляет 1:1:1, а содержание органического вещества не менее 20-30%. Изменение фаз нестабильно и мо-

жет изменяться в процессе эксплуатации грунта и зависит от количества севооборотов и биологических особенностей выращиваемых видов растений.

Тепличные грунты должны соответствовать следующим требованиям: содержание гумуса 12-15%, средняя плотность 0,4-0,6 г/см³, воздухоёмкость не менее 25%, влагоёмкость 48-52%. Все компоненты грунта должны быть хорошо перемешаны и равномерно распределены по площади теплицы.

В зависимости от содержания органических компонентов различают следующие виды грунтов:

- органические (один или несколько органических компонентов);
- органоминеральные (органические компоненты + минеральные в различных соотношениях;
- минеральные или насыпные (естественные почвы + минеральные компоненты).

В качестве исходных компонентов для приготовления тепличного грунта используют: торф, легкосуглинистую и супесчаную почвы, перегной, опилки, чернозем, песок, костру льна, древесную щепу, дерновую землю и другие компоненты. Вносят также и различные минеральные удобрения, дозировка которых выбирается в зависимости от вида возделываемой культуры [29,119].

Дерновая земля является одним из основных компонентов для приготовления грунта. Нельзя заготавливать дерновую землю на тяжелых, заболоченных и засоленных почвах. Дерновую землю можно заменить полевой, смешав ее с торфом или перегноем. В таком случае полевую землю заготавливают на полях, где выращивали перед этим бобовые травы.

Органические компоненты играют большую роль в плодородии типичного грунта и улучшении его агрофизических свойств. Кроме непосредственного увеличения органического вещества в грунте, качественно повышают его водные, тепловые и воздушные свойства, усиливают микробиологические процессы.

Навоз является основным и наиболее полным органическим удобрением, в состав которого входят азот, фосфор, калий, кальций и другие. Питательные вещества и микроэлементы. Качество навоза различается в зависимости от вида жи-

вотных, состава корма и подстилки. Наиболее часто в тепличном производстве используют перепревший навоз крупного рогатого скота прошедший биотермическую обработку. Навоз позволяет грунту удерживать больше влаги и улучшает общие физические свойства грунта – разлагаясь, высвобождает углекислый газ, что положительно влияет на газообменные процессы.

Перегной получается в результате разложения навоза, отличается высоким содержанием органического вещества, хорошими физическими свойствами, что делает его подходящим компонентом для тепличного грунта, предназначенного для выращивания рассады.

Наиболее распространенным компонентом тепличного грунта является торф. Он бывает нескольких видов, что обусловлено его свойствами и происхождением. Верховой торф – слаборазложившийся, имеет волокнистую структуру, низинный – практически полностью разложившийся, имеет выраженную структуру, а также переходной – обладает свойствами средними между верховым и низинным.

Верховой торф беден азотом и зольными веществами, имеет повышенную кислотность из-за чего использование его в чистом виде невозможно, но проведя известкование, получается хороший грунт для выращивания рассады. Низинный торф богат питательными веществами, хорошо разложившийся, содержит кальций и имеет слабую реакцию.

В теплицах овощные культуры выращивают в основном на верховом (сфагновом) торфе, который по сравнению с низинным торфом имеет некоторые преимущества. У него большая пористость, что способствует оптимальному соотношению твердой, жидкой и газообразной фракций. Влагеёмкость его составляет 1000-1200 %. Даже при полном насыщении водой торф содержит воздух до 40% общего объема. Сфагновый торф характеризуется низкой зольностью (3-5 %).

Обычно торф используют в смесях с другими компонентами, а также его используют для изготовления торфоперегнойных горшочков и мульчирования посевов. Используемый в качестве компонента тепличного грунта торф должен иметь зольность не более 12 %, а степень разложения не превышать 40% [54,81].

Для достижения оптимального соотношения воздухоёмкости и влагоемкости в тепличный грунт вносят различные рыхлящие материалы: опилки, мелкую щепу, песок, измельченную солому и т.д. из расчета 20-40 % объема. Для облегчения грунта добавляют чистый речной песок (10-15% от объема) [169,171].

Высокие урожаи овощей в теплицах невозможно обеспечить только внесением одних органических компонентов в тепличный грунт. Поэтому наряду с ними вносятся различные минеральные удобрения: азотные, фосфорные, калийные и т.д.

В качестве удобрения может применяться зола. Благодаря наличию в ней большого количества калия и углекислого кальция она может использоваться как калийное удобрение, а также для нейтрализации избыточной кислотности тепличного грунта.

Кроме этого, растению необходимы микроэлементы. Для этого вносятся микроудобрения, содержащие бор, марганец, цинк, медь, молибден. Данные вещества потребляются растениями в малых количествах, но при их недостатке задерживается развитие растений, и снижаются урожаи.

В зависимости от вида возделываемой культуры подбирают состав и определяют объем каждого компонента для приготовления тепличного грунта. Применяемые в тепличном овощеводстве грунты разнообразны по составу и использованию и должны соответствовать специальным требованиям [3, 61].

В некоторых источниках, применяют следующее соотношение компонентов в тепличном грунте:

- супесчаные почвы + торф + перепревший навоз (20-30:50-60:20-30);
- торф низинный + земля дерновая + перегной (50-60:20-30:10-20);
- торф низинный + земля дерновая + опилки (40-50:20-40:20-30);
- торф верховой + перепревший навоз (80-90:10-20);
- торф низинный + земля дерновая (60-90:10-40);
- земля дерновая + перегной (60-80:20-40) [171].

В Черноземной зоне грунты состоят из 40-60% низинного или переходного торфа, 20-30% среднесуглинистой земли, 20-30% перепревшего навоза.

Наиболее распространенным является состав тепличного грунта низинный торф (50-60%), опилки (20-25%), перепревший навоз (25-30%).

Одни компоненты делают тепличный грунт питательным, другие – рыхлым и влагоемким, третьи – теплым. Все они должны быть хорошо перемешаны, а готовый типичный грунт – равномерно уложен на всей полезной площади тепличного сооружения. Только при соблюдении таких условий растения будут хорошо развиваться, и давать стабильный урожай [169, 170, 235].

Мощность слоя тепличного грунта в большинстве тепличных сооружений составляет от 20 до 25 см. Потребность в готовом тепличном грунте рассчитывается из соотношения от 0,25 до 0,3 м³ грунта на 1 м² полезной площади теплицы [29]. Исходя из этой потребности, рассчитывают необходимое количество компонентов для приготовления грунта. Объемный вес основных компонентов тепличного грунта представлен в таблице 1.1 [51].

Таблица 1.1 – Объемный вес основных компонентов тепличного грунта

Наименование	Объемный вес, 1 т/м ³	Объем, 1 т/м ³
1	2	3
Дерновая суглинистая почва	1,2-1,5	0,67-0,83
Полевая почва	1,2	0,83
Песок	1,8-2,0	0,5-0,6
Навоз	0,8	1,25
Перегной	0,8-0,85	1,2-1,25
Торф низинный	>0,45	>3
Торф полуразложившийся	0,35-0,45	2,2-3,0
Торф разложившийся	0,8-0,85	1,2-1,25
Торф верховой	0,25-0,30	3,5-5,0

В результате технологического процесса приготовления грунта исходные компоненты, входящие в его состав, имеют физико-механические свойства, значительно отличающие их от готовой смеси. Также изменение свойств тепличного грунта происходит, если он приготовлен заблаговременно и заложен на хранение. В процессе хранения изменяются его свойства – увеличивается плотность, прочность, возрастает значение коэффициента трения. Во избежание этих негативных явлений смешивание компонентов производят непосредственно перед укладкой в теплицу [40,51,171].

Некоторые физико-механические свойства наиболее распространенных по составу тепличных грунтов представлены в таблице 1.2. [119].

Таблица 1.2 – Некоторые физико-механические свойства тепличных грунтов

Состав тепличного грунта	Плотность, кг/м ³	Сопротивление сдвигу, кПа	Сопротивление сжатию, кПа	Коэффициент трения	Влажность, %	Воздухоёмкость, %
1	2	3	4	5	6	7
Перепревший навоз + чернозем + древесные опилки (1:1:1)	0,6...0,7	0,03	0,05	0,65...0,75	54	27
Перепревший навоз + чернозем + минеральные удобрения + древесные опилки (1:1:1:1)	0,9...1,05	0,05	0,08	0,9...1,05	52	25
Перепревший навоз + песок + древесные опилки + торф (1:1:1:1)	0,75...0,8	0,04	0,06	0,85...1,0	49	26

Нарушение технологических норм полива и дозировки удобрений приводит к тому, что через несколько лет тепличные грунты засаливаются. Засолению тепличных грунтов может способствовать внесение высоких доз не только минеральных, но и органических удобрений. Особенно часто такое явление наблюдается при использовании простого суперфосфата. При внесении больших доз минеральных удобрений повышается осмотическое давление в грунте, что затрудняет нормальное обеспечение растений водой, нарушаются процессы фотосинтеза и газообмена. Причиной засоления тепличного грунта может являться поливная вода с повышенным содержанием легкорастворимых солей [51,223, 267].

Поэтому требуется периодическая замена тепличного грунта полностью или частично (удаление санитарного слоя на глубину до 0,1 м). В зависимости от длительности периода использования грунта выделяют:

- ежегодно сменяемые;
- сменяемые, с периодичностью от 2 до 3 лет;
- используемые от 4 до 8 лет;
- используемые от 8 до 12 лет и более (бессменные).

Длительность использования предполагает полную замену грунта в теплице по истечению данного периода, но при этом каждый год проводят оздоровление, путем замены санитарного (верхнего) слоя тепличного грунта [51,171].

Кроме этого, ежегодно вносят, 200-300 т/га навоза (опиленного или соломистого), 250-700 т/га соломенной резки (древесных опилок). Если вносят солому в качестве рыхлящего материала, то дополнительно вносят 0,7-1,0 кг азота на 1 центнер соломы, а если опилки – 0,3 кг азота на 1 центнер опилок. Дополнительно, в зависимости от выращиваемой культуры, вносят минеральные удобрения в различных соотношениях, а после производят повторное перекапывание [29,170]. Все эти операции позволяют оздоровить тепличный грунт и эксплуатировать его без полной замены продолжительное время.

Немалая часть затрат производителей тепличной продукции связана с недостаточным уровнем механизации трудоемких операций приготовления и использования тепличного грунта, зачастую связанных с применением ручного труда. К таким трудоемким операциям можно отнести: подготовку компонентов (укладка) к смешиванию, смешивание, полное или частичное удаление слоя, погрузку и транспортировку тепличного грунта.

1.3. Анализ существующего технологического процесса приготовления и использования тепличного грунта

Процесс приготовления и использования тепличного грунта включает несколько трудоемких операций, занимающих значительно время и требующих трудовых и материальных затрат. В настоящее время, из-за отсутствия специализированных технических средств, для приготовления грунта используют машины общего назначения, а также неприспособленные к тепличному производству машины из других отраслей сельского хозяйства – разбрасыватели органических и минеральных удобрений, бульдозерные навески, погрузки различных конструкций и т.д. Тепличный грунт готовят на специальной бетонированной площадке, находящейся в непосредственной близости от теплиц. Такое расположение позво-

ляет сократить затраты на транспортировку, а бетонное покрытие площадки защищает от потери твердых и жидких компонентов грунта при операциях и предотвращает загрязнение окружающей среды. Компоненты, предназначенные для составления тепличного грунта, пропускают через грохоты, затем укладывают на хранение или перемещают на бетонированную площадку для смешивания.

Укладка каждого компонента осуществляется отдельно. Для этой операции используют трактора с бульдозерной навеской. Вначале раскладывают рыхлящие материалы (опилки, щепу), чтобы предотвратить потерю жидких компонентов (если такие предусмотрены составом грунта), а затем раскладывают все остальные, чтобы высота укладки слоя каждого компонента соответствовала процентному содержанию данного компонента в готовом тепличном грунте. Самым верхним слоем выкладывают твёрдые минеральные удобрения [23,29].

Ранее в большинстве тепличных хозяйства существовала система подготовки компонентов будущего тепличного грунта на основе полевой почвы. Для этого проводят ряд подготовительных операций. На полевую почву вносят навоз (200-300 т/га), перегной или торф (120-150 т/га) и минеральные удобрения (аммиачной селитры 1,5-2 ц/га, суперфосфата 5-6 ц/га, сернокислого калия или калимагнезии 1,5-2 ц/га) и запахивают их на глубину 22-25 см. Затем высевают повышенную норму семян смеси злакобобовых трав. На второй год зеленую массу трав запахивают в качестве зеленого удобрения. В течение сезона поле несколько раз поливают навозной жижей и культивируют. Через 2-3 месяца снимают (бульдозером, скрепером) облагороженный слой и землю свозят на специально оборудованную бетонированную площадку в бурты [33]. Далее в зависимости от потребности полевая земля закладывается на хранение либо направляется для смешивания с другими компонентами в целях получения тепличного грунта заданного состава. В общем случае последовательность операций по приготовлению и использованию грунта может быть объединена в технологическую блок-схему (рисунк 1.5). Из анализа представленной блок-схемы можно сделать вывод, что в хозяйствах тепличный грунт готовят для двух целей – для основного выращивания растений и для выращивания рассады.

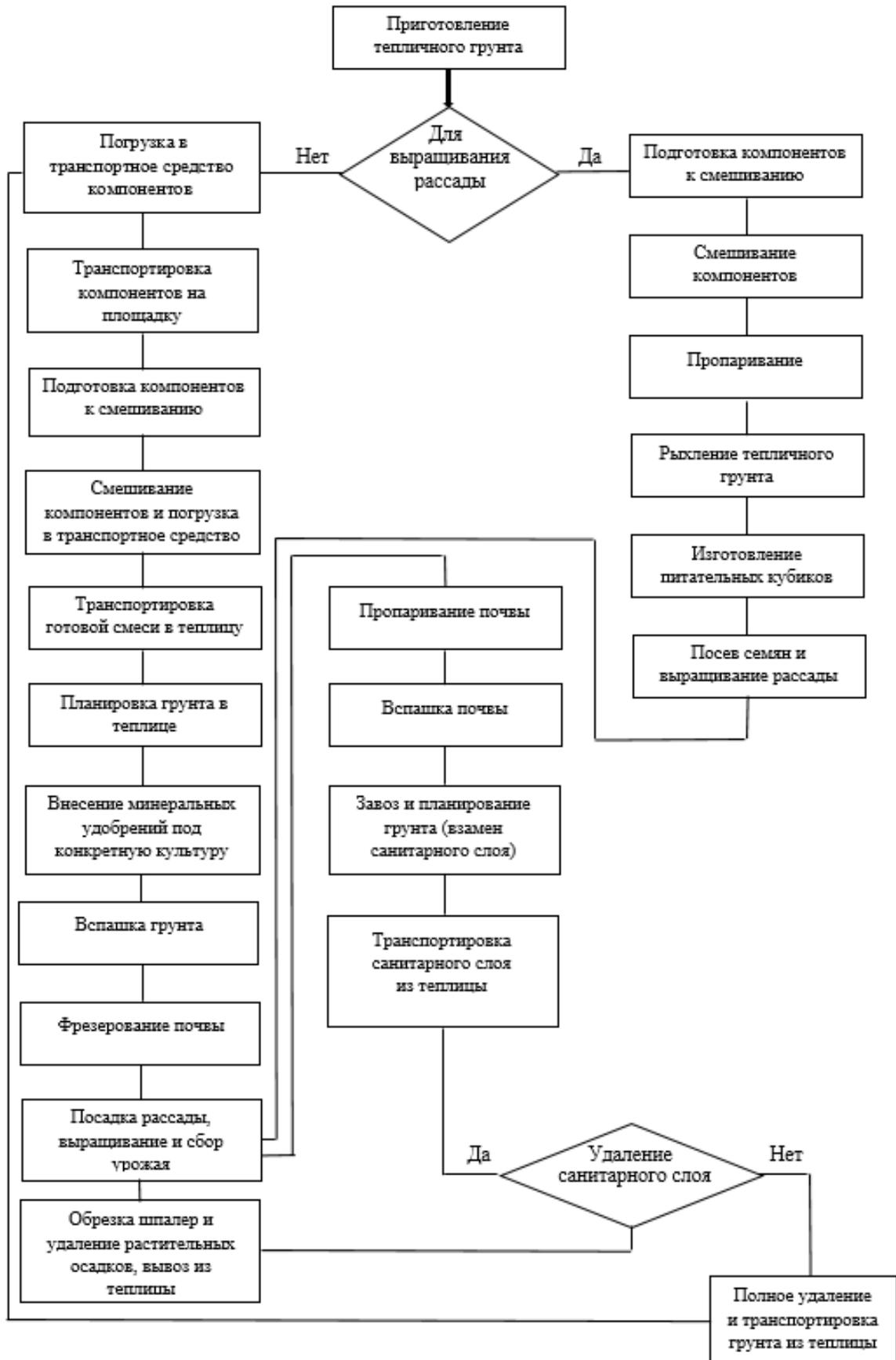


Рисунок 1.5 – Блок-схема технологического процесса приготовления тепличного грунта для рассады и основного выращивания растений

В зависимости от целей применяют и различные технические средства. Для рассады тепличный грунт готовят с использованием стационарных смесителей, например, СТМ-8/20 [252]. Выбор стационарных смесителей обусловлен тем, что потребность в объемах такого грунта сравнительно небольшая, но в тоже время к нему предъявляются высокие требования к качеству смешивания, которые могут обеспечить только такие смесители. Для загрузки компонентов в стационарные смесители используют погрузчиками ПЭ-0,8Б, ПФП-1,2 или их аналоги [249].

Для основного выращивания растений требуется значительные объемы грунта, которые с использованием стационарных смесителей, из-за их сравнительно малой производительности, не приготовить. Поэтому для этих целей используют площадочный способ и соответствующие технические средства с гораздо большей производительностью.

На основе многолетней практики широкое распространение получила технологическая схема подготовки тепличного грунта площадочным способом на основе бульдозера (рисунок 1.6) [171, 253].

Данная схема основана на последовательных операциях укладки каждого компонента грунта отдельным слоем поверх предыдущего. Укладка выполняется последовательным проходом машины (операции 1-4). Для осуществления этой операции используют, в основном, бульдозеры, реже – погрузчики периодического действия. В некоторых случаях могут использоваться разбрасыватели органических и минеральных удобрений. Далее следует погрузка (операция 5) с одновременным смешиванием, которая проводится, как правило, погрузчиком непрерывного действия. В некоторых случаях для смешивания используют стационарные смесители. Далее готовый грунт загружают в кузов транспортного средства и завозят в помещение теплицы (операция 6-7), где с использованием трактора с бульдозерной навеской осуществляют равномерное распределение грунта по полу теплицы (операция 8). После цикла выращивания растений и получения урожая производится удаление использованного тепличного грунта полностью или верхнего (санитарного) слоя (операция 9).

В связи с тем, что компоненты укладываются последовательно, то каждый проход машины по ранее уложенному слою приводит к уплотнению материала. При этом каждый отдельный компонент укладывается машиной отдельно за один проход, т.е. возможность одновременной укладки нескольких компонентов отсутствует, что приводит к увеличению расхода топлива и времени на выполнение операции. Из-за использования неприспособленных технических средств наблюдается неравномерное распределение компонентов, высота уложенного слоя значительно варьируется, что впоследствии, в процессе смешивания, приводит к неравномерному распределению компонентов в готовой смеси.

Выявленные недостатки рассмотренной схемы приводят к увеличению общих затрат на приготовление тепличного грунта, снижению урожайности и качества готовой продукции.

В рамках существующей технологической схемы (рисунок 1.6), компоненты проходят предварительную подготовку. Для сбора и укладки в штабеля земли, дернины и торфа применяли тракторную механическую лопату ТМН-0,5; для смешивания, перелопачивания и погрузки земель использовали смесители-погрузчики СПУ-40М; для размельчения дернины, торфа, компостов, просеивания земель применяли просеиватели ГНТ-30, ПВБ-30 [249]. Серийное производство большинства перечисленных машин прекращено много лет назад [33].

Для следующей операции – укладка исходных компонентов на площадке – используются бульдозеры и бульдозерные навески различных модификаций [214]. Также использует погрузчики периодического действия различных конструкций, таких как ПКУ-0,8 [101]. Общий недостаток использования таких машин – многократные заезды на предыдущий слой компонента, что приводит к уплотнению и потерям материала, а также и к дополнительному расходу топлива.

Последующая операция по смешиванию и погрузке компонентов осуществляется ПНД-250 (погрузчик непрерывного действия с производительностью погрузки до 250 т/ч) или аналогами [96,217].

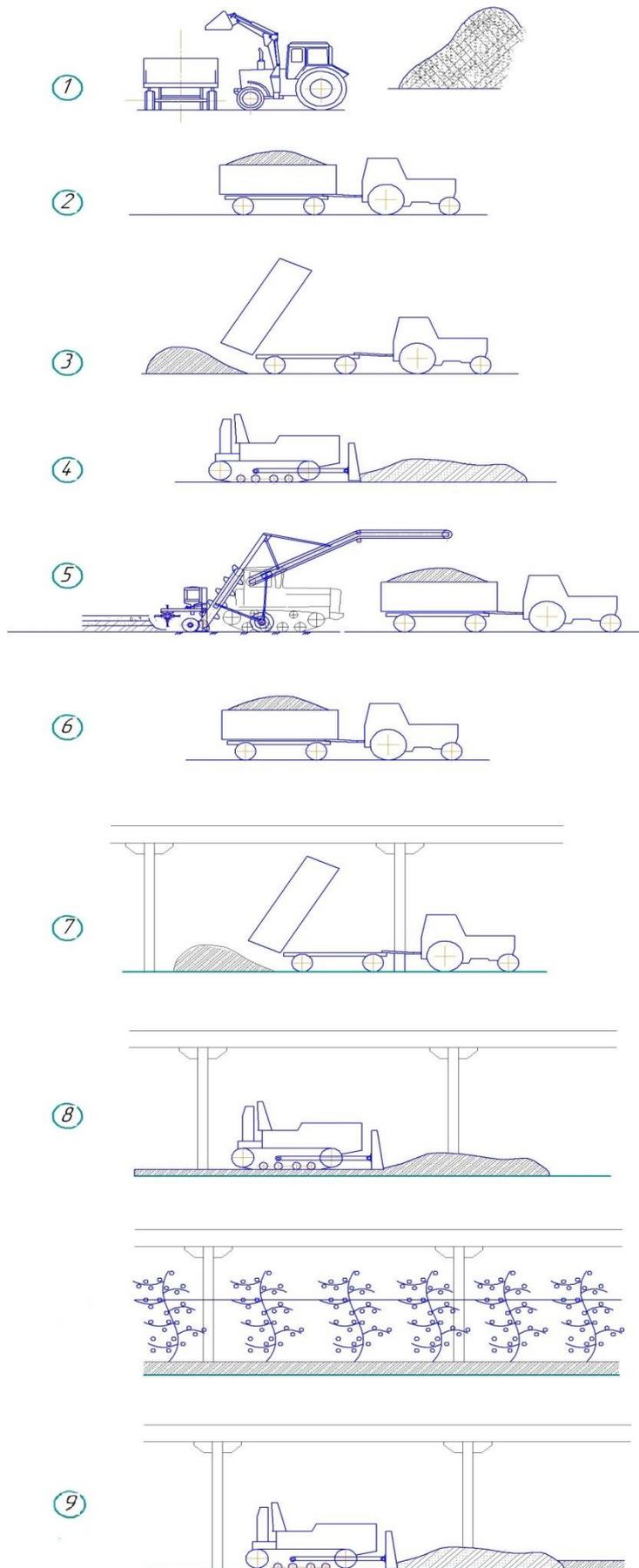


Рисунок 1.6 – Существующая технологическая схема приготовления и использования тепличного грунта

Так как данный погрузчик не приспособлен для смешивания (рабочий орган не адаптирован к физико-механическим свойствам компонентов грунта), то чтобы достичь необходимого качества смешивания, ему требуется совершить несколько проходов. Это ведет к увеличению затрат труда и расходов на ГСМ.

Далее готовый грунт, загруженный в транспортное средство, доставляют в теплицу, где его равномерно распределяют по полу, используя трактор с бульдозерной навеской, а также, при необходимости, дополнительно разравнивают вручную.

Удаление тепличного грунта после использования производят также бульдозерами на базе трактора МТЗ (сгребание грунта к центральному пролету теплицы) и ковшовыми погрузчиками типа ПКУ (погрузка в транспортное средство) [101,215]. При работе бульдозера происходит потеря грунта по бокам отвала, что приводит к необходимости дополнительных проходов машины, но даже после этого удалить весь грунт не удастся. В этом случае прибегают к использованию ручного труда для окончательного сбора остатков грунта с поверхности пола теплицы.

Анализ существующей технологической схемы процесса подготовки тепличного грунта позволяет сделать вывод, что наиболее трудоемкими операциями являются: укладка исходных компонентов на площадке, смешивание и погрузка, удаление слоя грунта из теплицы.

Из анализа также следует, что для приготовления тепличного грунта приспособляются машины из других отраслей народного хозяйства. Рабочие органы таких машин не адаптированы к физико-механическим свойствам компонентов тепличного грунта, это приводит к перерасходу материальных ресурсов, снижению производительности и качества готового грунта, необходимости в применении ручного труда, что приводит к увеличению себестоимости готовой продукции.

Необходимо создание рациональной технологии приготовления тепличного грунта, позволяющей сократить количество технологических операций за счет разработки технических средств новой конструкции.

Для выявления перспективных направлений механизации процесса приготовления и использования тепличного грунта проведем анализ существующих технических средств. Наряду с серийно выпускаемыми техническими средствами рассмотрим, опытные образцы и конструкции из патентных и литературных источников.

1.4. Анализ существующих технических средств, применяемых для приготовления и использования тепличного грунта

В совокупности технических средств, применяемых для приготовления и использования тепличного грунта, выделим основные наиболее трудоемкие технологические процессы, часто требующие дополнительного ручного труда. К данным процессам относятся: укладка компонентов на площадку для смешивания, процесс смешивания компонентов в тепличный грунт, погрузка готового грунта в транспортное средство и последующая транспортировка, укладка грунта в теплице. После использования грунт полностью или частично удаляется из теплицы и заменяется новым.

1.4.1 Анализ существующих технических средств, применяемых для укладки компонентов тепличного грунта

Для выполнения операции по укладке компонентов тепличного грунта на поверхность бетонированной площадки (для последующего смешивания), используют разбрасыватели органических и минеральных удобрений различных конструкций, зарубежного и отечественного производства.

Поскольку в составе тепличного грунта присутствуют, помимо органической составляющей еще и минеральная (удобрения, песок, зола и т.п.), то для внесения такого рода материалов возможно применение машин, предназначенных для работы с минеральными удобрениями.

Для укладки минеральных компонентов тепличного грунта возможно применение разбрасывателя РУМ-5 (МВУ-5) [100]. Машина предназначена для поверхностного (сплошного) внесения минеральных удобрений (калийная соль, аммиачная селитра, известковая мука, суперфосфат, мел, песок и др.) на поля практически во всех почвенно-климатических зонах (рисунок 1.7).

Машина представляет собой полуприцеп, с расположенными на нем одним транспортирующим и одним-двумя (в зависимости от конструкции) рассеивающими устройствами центробежного типа. В зависимости от модели машины привод рабочих органов может осуществляться от ВОМ трактора, ходового колеса машины или гидросистемы трактора. Для регулирования расхода удобрений предусмотрена дозирующая заслонка. Кузов машины цельносварной конструкции, выполнен совместно с рамой. Внутри кузова смонтировано устройство для равномерной разгрузки в виде объемного экрана, закрепленного двумя опорами на переднем и боковых бортах.



Рисунок 1.7 – Общий вид разбрасывателя РУМ-5 (МВУ-5) оснащенного двумя рассеивающими устройствами центробежного типа

Принцип работы машины заключается в следующем – удобрения засыпаются в кузов погрузчиком, далее транспортер подаёт их через отгрузочное окно на туконаправители, а оттуда удобрения попадают на диск рассеивающих устройств, которые распределяют их по поверхности поля.

Производительность 4-14 га/ч, рабочая ширина захвата 14-20 м, рабочая скорость – до 15 км/ч, грузоподъемность – 5 т. Агрегатируется с тракторами класса – 1,4; например, МТЗ-80 или МТЗ-82 [93].

Рассеиватель удобрений РУ-3000 предназначен для рассеивания твердых минеральных удобрений, как в кристаллическом, так и в гранулированном виде (рисунок 1.8) [230].



Рисунок 1.8 – Общий вид рассеивателя удобрений РУ-3000

Процесс работы заключается в следующем. При поступательном движении агрегата с трактором, удобрение из бункера через дозирующий механизм поступает на метатели, с помощью которых происходит распределение его по поверхности. Распределитель РУ-3000 агрегатируется с тракторами тягового класса 1,4. Привод рабочих органов осуществляется от ВОМ и гидросистемы трактора. Ширина внесения (разбрасывания) удобрений от 12 до 28 метров, производительность до 33,6 т/га; грузоподъемность 3 т; рабочая скорость 6-12 км/ч; доза внесения удобрений от 40 до 1110 кг/га.

Для внесения минеральных удобрений широко используют распределитель минеральных удобрений МТТ-4У на рессорном ходу (рисунок 1.9) или его модификация МТТ-4У-1 на жестком ходу. Машина предназначена для поверхностного внесения известковых материалов и минеральных удобрений в твердой фазе с последующей заделкой их почвообрабатывающими орудиями.



Рисунок 1.9 – Общий вид распределителя минеральных удобрений МТТ-4У

Машина представляет собой полуприцеп, на котором установлены транспортирующие и рассеивающие рабочие органы [231]. Также машина включает следующие сборочные единицы и механизмы: кузов с рамой, балансирную тележку, привод рабочих органов, дозирующие заслонки, туконаправители (рисунок 1.10). Привод транспортера и разбрасывающих дисков – механический от ВОМ трактора.

Корпус представляет собой сварную конструкцию. Верхняя часть корпуса покрыта секционной сеткой для отделения крупных комков удобрения. Задняя стенка корпуса имеет окна со сдвижными крышками манометра. Работа заслонки – ручная с блокировкой. На верхней кромке корпуса имеются крюки для крепления брезента. Механизмы выдвижения (левый и правый) представляют собой конусные редукторы, на валах которых закреплены пластины с лопастями. Шарниры тарелок фиксируются накидными гайками по направлению вращения.

Технические характеристики машины: грузоподъемность 4 т., рабочая ширина внесения 8-24 м, масса машины 2,6 т., дозы внесения удобрений от 0,1 до 2,

т/га, производительность 9-21 га/ч. Техника агрегируется с тракторами тягового класса 1,4, имеющими ВОМ, выходы электрооборудования и тягово-сцепное устройство ТСУ-2 (гидрокрюк).

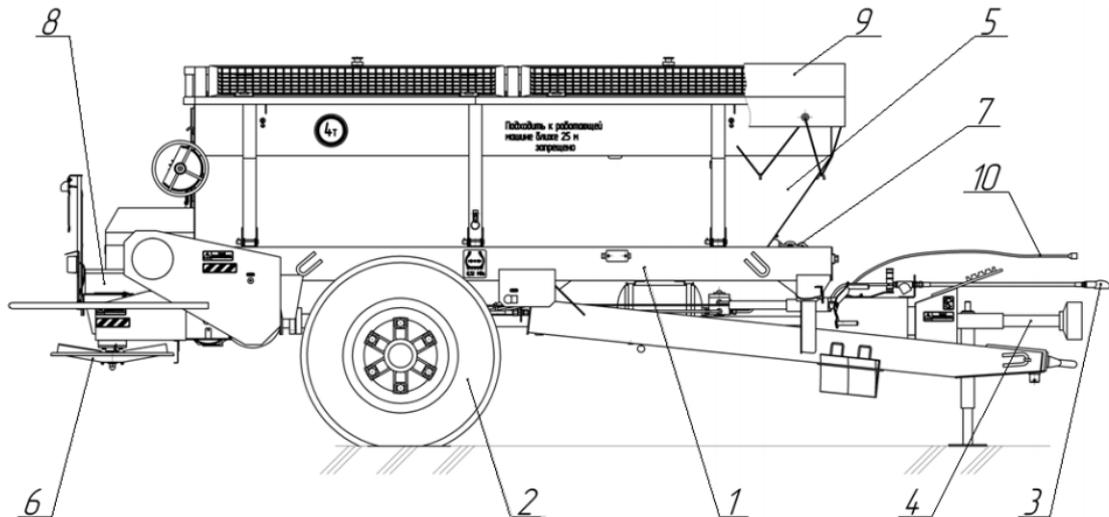


Рисунок 1.10 – Устройство распределителя минеральных удобрений МТТ-4У: 1 – шасси, 2 – мост с колесами, 3 – тормозная система, 4 – трансмиссия, 5 – кузов, 6 – разбрасывающие механизмы, 7 – подающие конвейеры, 8 – туконаправитель, 9 – тент, 10 – электрооборудование

Основным недостатком разбрасывателей минеральных удобрений является их неравномерность внесения. При работе разбрасывателей допускается отклонение фактической дозы от заданной $\pm 5\%$, а неравномерность распределения по ширине захвата $\pm 15\%$ [95]. Что в условиях ограниченного пространства корнеобитаемой среды в теплице приведет к неравномерному питанию растений – одно растение будет получать избыток минеральных веществ, а другое испытывать их недостаток, что в обоих случаях ведет к снижению урожайности. Иными словами, данные машины не приспособлены к работе в тепличном производстве, а их использование приводит к удорожанию конечной продукции.

Кроме различных конструкций разбрасывателей минеральных удобрений для укладки компонентов тепличного грунта возможно использовать измельчи-

тель-растариватель АИР-20 [1]. Основное его предназначение – растаривание упакованных минеральных удобрений и освобождение их от мешкотары, а также для измельчения и просеивания слежавшихся неупакованных удобрений с параллельной загрузкой в кузова транспортных средств, бурты, бункеры разбрасывателей. Агрегат представляет собой передвижной полуприцеп, агрегируется с тракторами тягового класса 0,9...1,4. Привод рабочих органов осуществляется от ВОМ трактора или электродвигателя мощностью 30 кВт. (рисунок 1.11).



Рисунок 1.11 – Общий вид измельчителя-растаривателя АИР-20

Машина состоит из загрузочного бункера, измельчающего и растеривающего устройств, двух отгрузочных транспортёров (рисунок 1.12). Подача в бункер агрегата слежавшихся удобрений осуществляется погрузчиком ПКУ-0,8. Далее, удобрение попадает на колебательно движущийся питатель, который подает их в измельчающие устройство, выполненное в виде двух барабанов, вращающихся в противоположных направлениях. Далее слежавшиеся удобрения измельчаются, а

упакованные одновременно освобождаются от тары. Все эта масса попадает на сепарирующее устройство, где удобрения просеиваются и попадают в элеватор откуда выносятся отгрузочным транспортером, а остатки тары удаляются за пределы рабочей зоны машины.

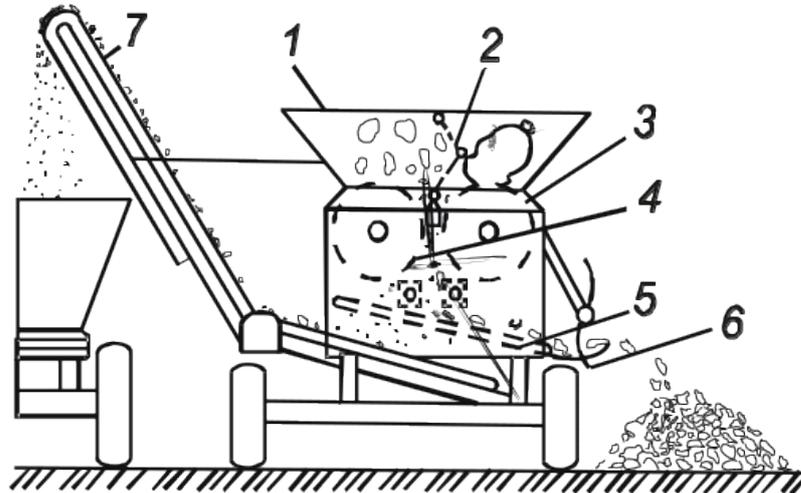


Рисунок 1.12 – Схема работы агрегата АИР-20 [95]: 1 – бункер; 2– питатель; 3 – измельчающий барабан; 4 – противорежущая пластина; 5 – сепарирующее устройство; 6 – устройство для удаления мешкотары; 7 – откидной отгрузочный транспортер

Объем бункера агрегата составляет 1 м^3 , производительность на несслежавшихся удобрениях – до 30 т/ч, на слежавшихся – 20-30 т/ч, при этом размер частиц не превышает 5 мм.

К недостаткам агрегата АИР-20 можно отнести, небольшую вместительность бункера, что предполагает частую загрузку компонентов с использованием погрузчика, недостаточная равномерность укладки, невозможность одновременной работы с несколькими видами удобрений.

Помимо минеральных компонентов большую часть тепличного грунта составляют органические, такие как торф, перегной, дерновая земля и другие. В условиях овощеводства защищённого грунта возможно применение различных разбрасывателей органических удобрений для укладки компонента на заранее подготовленную площадку.

Машина РОУ-6 (аналог ПРТ-7А) предназначена для внесения твердых органических удобрений, а также для перевозки кормов и других грузов с выгрузкой назад (рисунок 1.13) [229].



Рисунок 1.13 – Общий вид разбрасывателя органических удобрений РОУ-6

Разбрасыватель представляет собой полуприцеп с размещенным на нем металлическим кузовом 2 с возможностью дополнительного наращивания высоты бортов – надставные борта 1 (рисунок 1.14).

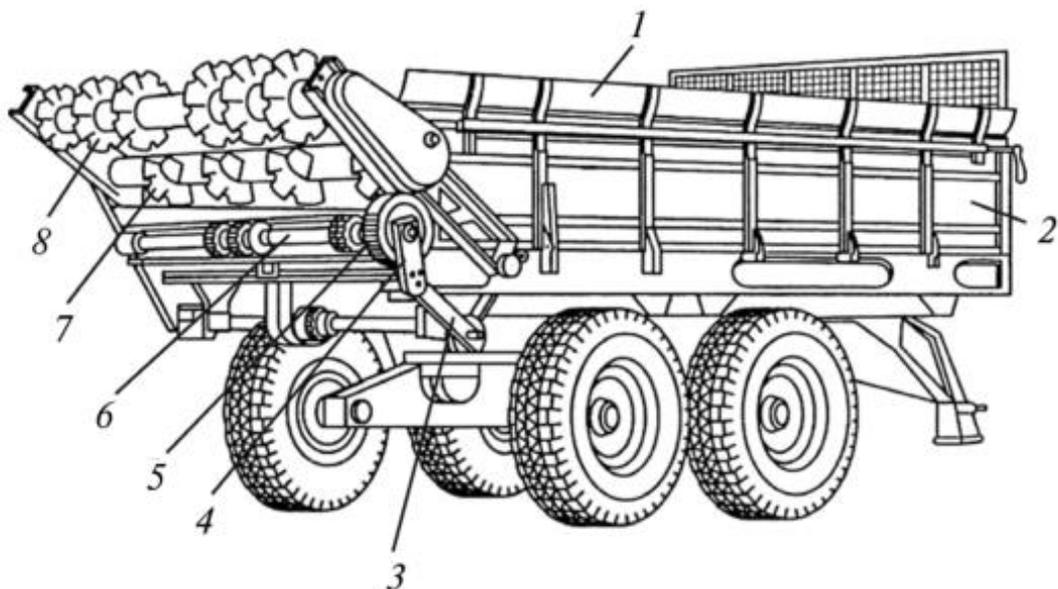


Рисунок 1.14 – Схема устройства разбрасывателя органических удобрений РОУ-6:
1–борт; 2 – кузов; 3 – шатун; 4 – коромысло; 5 – храповое колесо; 6 – питающий транспортер; 7 – измельчающий барабан; 8 – разбрасывающий барабан

При движении машины цепочно-планчатый транспортер 6 перемещает часть удобрений к разбрасывающему устройству (расположено на месте заднего борта кузова), которое состоит из двух шнековых барабанов 7 и 8, ось которых расположены перпендикулярно направлению движения разбрасывателя. Привод рабочих органов осуществляется от вала отбора мощности.

Разбрасыватель агрегируется с тракторами класса 1,4; грузоподъемность 6 т; вместимость кузова 3,6 м³; рабочая ширина распределения удобрений 6-7 м. Производительность до 52 т/ч. Дозы внесения удобрений от 10-60 т/га.

Разбрасыватель твердых органических удобрений МТО-3 (рисунок 1.15) предназначен для транспортирования и сплошного поверхностного внесения (рассеивания) твердых удобрений [139]. Также имеет модификации МТО-4, МТО-6, МТО-7, где индекс в названии соответствует грузоподъемности в тоннах. Устройство данной машины схоже с устройством РОУ-6.



Рисунок 1.15 – Общий вид машины для внесения органических удобрений МТО-3

Ширина внесения удобрений от 4 до 8 метров. Расчетная производительность 15 т/ч, настраиваемые дозы внесения от 15 до 45 т/га. Привод рабочих органов осуществляется от вала отбора мощности трактора (тяговый класс 1,4).

Кроме отечественно серийной техники выпускаются и зарубежные аналоги, которые возможно использовать в типичном производстве.

Например, разбрасыватель навоза/компоста модели P50 (рисунок 1.16) производства фирмы «Annovi F.lli di Annovi Marino Srl» (Италия) предназначен для внесения любых типов органических удобрений на поверхность поля: навоз, компост, органические осадки, растительные отходы и т.д. [231]

Разбрасыватель оснащён донным транспортёром с двумя цепями. Регулирование ширины разброса осуществляется двумя задними ограничительными щитками. Объем бункера – 5 м³. Ширина разбрасывания до 5 м. Допустимая полная масса 5000 кг. Требуемая мощность трактора не менее 60 л.с.



Рисунок 1.16 – Общий вид разбрасывателя навоза/компоста модели P50

Разбрасыватель N-235 (рисунок 1.17) производства фирмы «СункоМет» (Польша) с вертикально расположенными рабочими органами шнекового типа предназначен для разбрасывания органических удобрений (навоза, торфа, компоста и т.д.), а также для перевозки различные сыпучих материалов с возможностью саморазгрузки [2]. Машина оснащена двухосной системой подвески на стальных рессорах (или на балансире с резиновыми рессорами), а также основной тормозной системой (пневматической и гидравлической) и ручным тормозом. Площадь грузовой платформы 3,4 м², грузоподъемность 4000 кг, длина кузова внешняя 3,96 м, ширина 1,72, агрегируется с тяговыми средствами 0,9-1,4 класса.



Рисунок 1.17 – Общий вид разбрасывателя N-235

Для укладки органических компонентов грунта возможно использовать разбрасыватель JYMPA R-450-M производства фирмы JYMPA Maquinaria Agrícola (Испания) (рисунок 1.18) [316].



Рисунок 1.18 – Общий вид разбрасыватель органических удобрений
JYMPA R-450-M

Машина предназначена для разбрасывания на полях и пастбищах органических удобрений, компоста и торфа. Вместимость бункера 4,5 т., масса машины 1,3 т.

Разбрасыватель RS-1500 (рисунок 1.19) производства фирмы «СункоМет» (Польша) предназначен для равномерного распределения навоза, торфа, коры, опилок или компоста по поверхности земли при работе в садах [228].

Его особенностью являются узкие габариты (ширина – 1260 мм, длина – 3960 мм), что позволяет его использовать в узких пространствах между рядами деревьев и кустарников. Материал выгружается двумя горизонтальными переходными барабанами. Через гидравлический дисковый привод, управляемый клапаном с плавным регулированием потока и регулируемым углом наклона диска, пользователь может регулировать скорость, угол и расстояние разбрасывания в соответствии со своими потребностями и типом материала.



Рисунок 1.19 – Общий вид разбрасывателя RS-1500

Разбрасыватель органических удобрений CS 95 (рисунок 1.20) производства фирмы Strautmann (Германия), который особенно подходит для небольших хозяйств и обеспечивает эффективное разбрасывание навоза [306].



Рисунок 1.20 – Разбрасыватель органических удобрений CS 95

Выпускается в различных модификациях, различающихся по грузочному объему от 7,5 до 9,5 м³. Оснащен четырьмя вертикальными разбрасывающими катками для рабочей ширины 6 - 8 м, веерообразные разбрасывающие пальцы обеспечивают равномерное измельчение разбрасываемого материала. Складывающиеся боковые панели позволяют использовать разбрасыватель как транспортный прицеп.

Привод рабочих органов осуществляется от ВОМ трактора через высокомоментный редуктор подачи с гидравлическим приводом, позволяющий регулировать скорости подачи с помощью регулирующего клапана на дышле. Бесступенчатая регулировка позволяет легко и точно адаптировать количество сброса удобрения. Общая грузоподъемность 6 т, рабочая ширины разбрасывания 6-8 м.

Исследователями из Китайской Народной Республики была предложена модель двухрядной машины для совместного внесения минеральных и органических удобрений под плодовые деревья в промышленном садоводстве (рисунок 1.21) [315,318]. Рабочие органы данной машины предназначены для заделки удобрений вглубь почвы, что не позволяет использовать ее эффективно при укладке компонентов тепличного грунта.

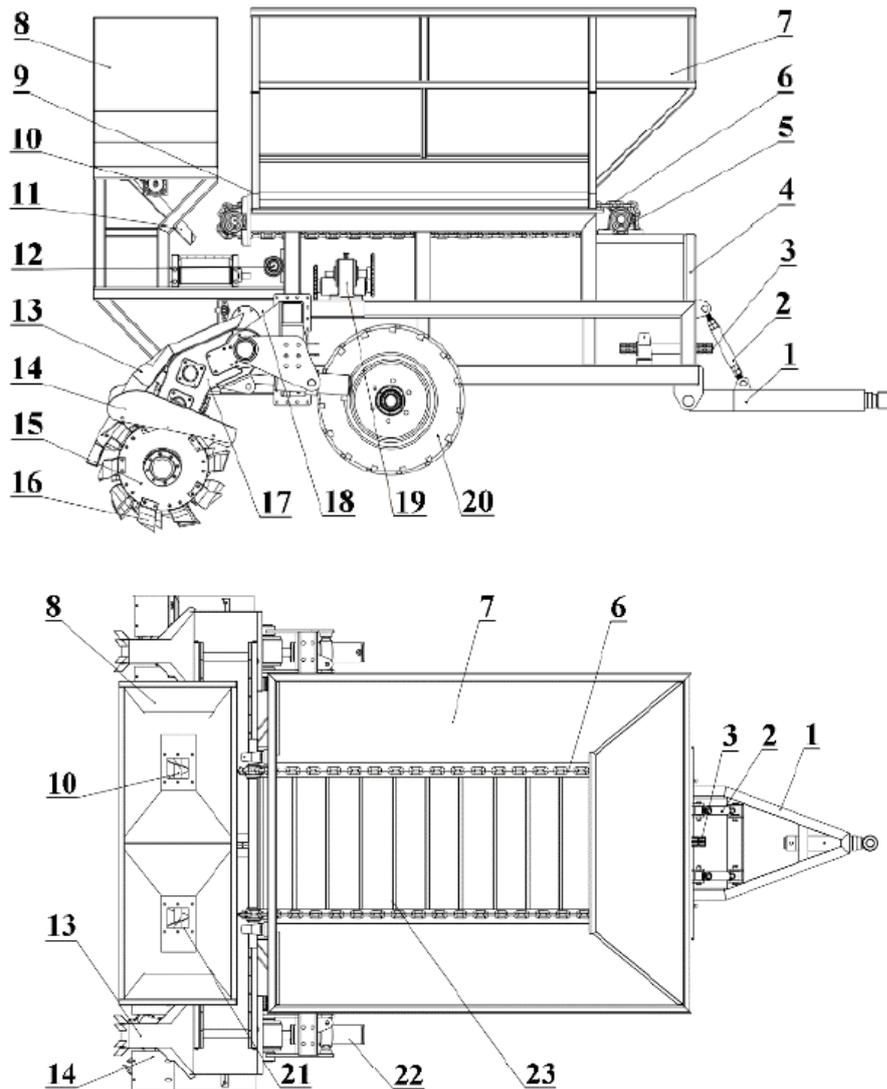


Рисунок 1.21 – Двухрядная машина для внесения удобрений:

1 – сцепка; 2 – регулировочная тяга; 3 – трансмиссионный вал; 4 – рама; 5 – цепное колесо выгрузки удобрений; 6 – скребковый транспортер; 7 – бункер для органических удобрений; 8 – бункер для минеральных удобрений; 9 – окно выгрузки органических удобрений; 10 – шнек разгрузки минеральных удобрений; 11 – отражающая пластина для транспортировки минеральных удобрений; 12 – регулировочная коробка передач выгрузки удобрений; 13 – направляющая пластина для удобрений; 14 – ограничитель; 15 – фреза; 16 – канавкопатель; 17 – коробка передач; 18 – главная коробка передач; 19 – трансмиссионная коробка транспорта удобрений; 20 – колесо; 21 – окно выгрузки удобрений минеральных удобрений; 22 – гидроцилиндр; 23 – скребок для разгрузки удобрений

Основным недостатком разбрасывателей органических удобрений, препятствующих их рациональному использованию в тепличном производстве является большие отклонения неравномерности распределения удобрения: по ширине разбрасывания – не более $\pm 25\%$, а по направлению движения – не более $\pm 10\%$ [95]. Данные значения являются малопригодными для тепличного производства.

МТТ-4У РОУ-6 и другие машины подобной конструкции имеют высокую производительность (специально для обработки больших площадей), что препятствует их эффективному применению в тепличном производстве, кроме этого, они имеют сравнительно малый объём кузова по сравнению с требуемыми объёмами укладки компонентов грунта. Кроме этого, данные машины не способны укладывать одновременно несколько компонентов.

Ввиду высокой стоимости, большой трудоемкости и низкой точности укладки вышеназванных машин, основным средством распределения компонентов тепличного грунта перед смешиванием остаются бульдозеры и бульдозерные навески (рисунок 1.22), а также ковшовые погрузчики периодического действия, например, типа ПКУ или аналогичных конструкций (рисунок 1.23) [101, 215].



Рисунок 1.22 – Трактор МТЗ с бульдозерной навеской

Распределение компонента тепличного грунта из бурта по поверхности площадки трактор с бульдозерной навеской осуществляет путем многократных заездов, это увеличивает расходы топлива, производительность при этом невелика, а качество укладки остается низким – имеются уплотнения грунта и потери дорогостоящего компонента, которые приходится минимизировать за счет использования ручного труда.

Погрузчик навесной универсальный сельскохозяйственного назначения ПКУ-0,8 оснащенный ковшом предназначен для погрузки и перевозки различных материалов (грунт, органические и минеральные удобрения, песок, щебень, снег и т.д.). Основные характеристики: грузоподъемность 800 кг; максимальная высота погрузки ковшом 3,0 м; производительность до 55 т/ч основной работы при объеме ковша 0,5 м³, привод осуществляется от гидросистемы трактора. Помимо ковша погрузчик имеет различный набор сменных рабочих органов и оборудования согласно профилю его использования.



Рисунок 1.23 – Погрузчик универсальный сельскохозяйственного назначения ПКУ-0,8 с ковшом

Работает ПКУ-0,8 аналогично трактору с бульдозерной навеской при укладке компонентов тепличного грунта, что приводит к таким же недостаткам в работе.

Представленный анализ существующих технических средств возможных к использованию для выполнения операции по укладке компонентов тепличного грунта позволил сделать следующие выводы:

- представленные конструкции машин создавались для работы в открытом грунте и не приспособлены к условиям защищённого грунта;
- рабочие органы машин не адаптированы к работе с компонентами грунта, что проявляется в несоответствии требованиям по качеству укладки и дозировки компонентов;
- применение данных машин ведет к увеличению затрат, снижению производительности, а иногда и к применению ручного труда.

Для осуществления операции по укладке компонентов тепличного грунта требуется разработка машины новой конструкции, имеющей достаточную производительность (возможность одновременной укладки нескольких компонентов), обеспечивающую высокое качество укладки и дозирования минеральной составляющей за счёт адаптации рабочих органов к физико-механическим свойствам компонентов составляющих тепличный грунт.

1.4.2 Анализ существующих технических средств, применяемых для смешивания компонентов и погрузки в транспортное средство

Для механизации технологического процесса смешивания исходных компонентов тепличного грунта применяют различные стационарные смесительные установки (для приготовления относительно небольших объемов грунта), смесители-загрузчики органических удобрений, а также погрузчики непрерывного действия общего назначения (для приготовления больших объемов грунта). Выпускаемые машины как отечественного, так и зарубежного производства.

Наиболее распространенным стационарным смесителем отечественного производства, является смеситель СТМ-8/20, который предназначен для смешивания не более трех компонентов при приготовлении торфоперегнойной массы (рисунок 1.24). Исходные компоненты должны быть предварительно просеяны и очищены от механических включений [252].

Смеситель состоит из трех бункеров-дозаторов с подвижным дном, непосредственно смесителя, загрузочного и выгрузного транспортера, трех туковысевающих аппаратов АТД-2 (для внесения минеральных удобрений в смесь) и пульта управления. Привод смесителя осуществляется от электродвигателя мощностью 11 кВт. Производительность за час чистой работы 23 т/ч, частота оборота вала смесителя 730 об/мин. Обслуживают три человека: машинист и двое рабочих.

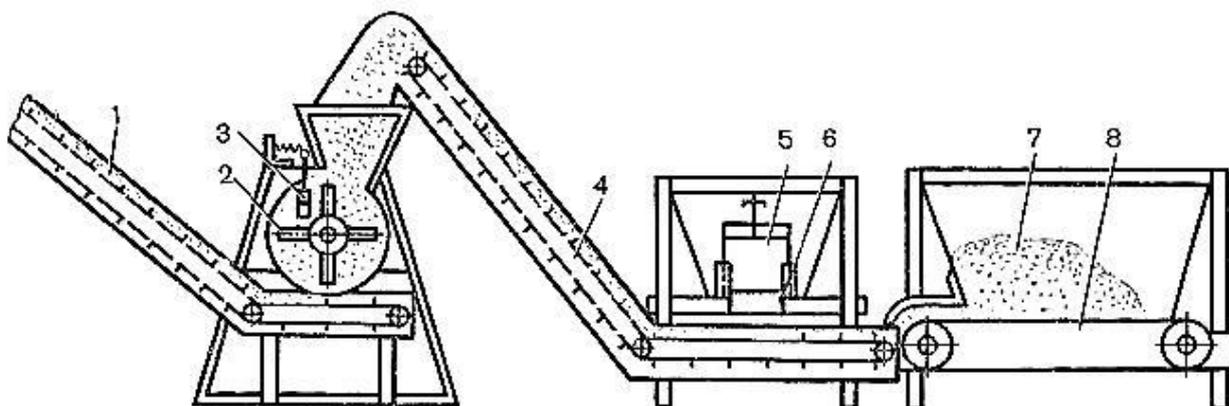


Рисунок 1.24 – Схема смесителя СТМ-8/20: 1 – выгрузной конвейер; 2 – ротор; 3 – шнек; 4 – загрузочный конвейер; 5 – шнек; 6 – перегной; 7 – компонент; 8 – ленточный конвейер

Смеситель С-12, производства ОАО «БелцентрАгропромСбыт» (Республика Беларусь) предназначен для смешивания торфа и органических компонентов: удобрения, торф, ил, песок и т.д. (рисунок 1.24).

Рабочий орган представляет собой два горизонтальных лопастных шнека, вращающихся в противоположных направлениях, размещенных в бункере. Также в бункере предусмотрена подача воды и пара (по парораспределителю) для увеличения влажности готовой смеси. Выгрузка готовой смеси осуществляется отгрузочным шнеком, что позволяет осуществить подачу компонентов на транспор-

тер для дальнейшего производства или фасовки. Привод осуществляется от электродвигателя, производительность до 12 м³/ч, однородность смешивания достигает 98-99%. [251].

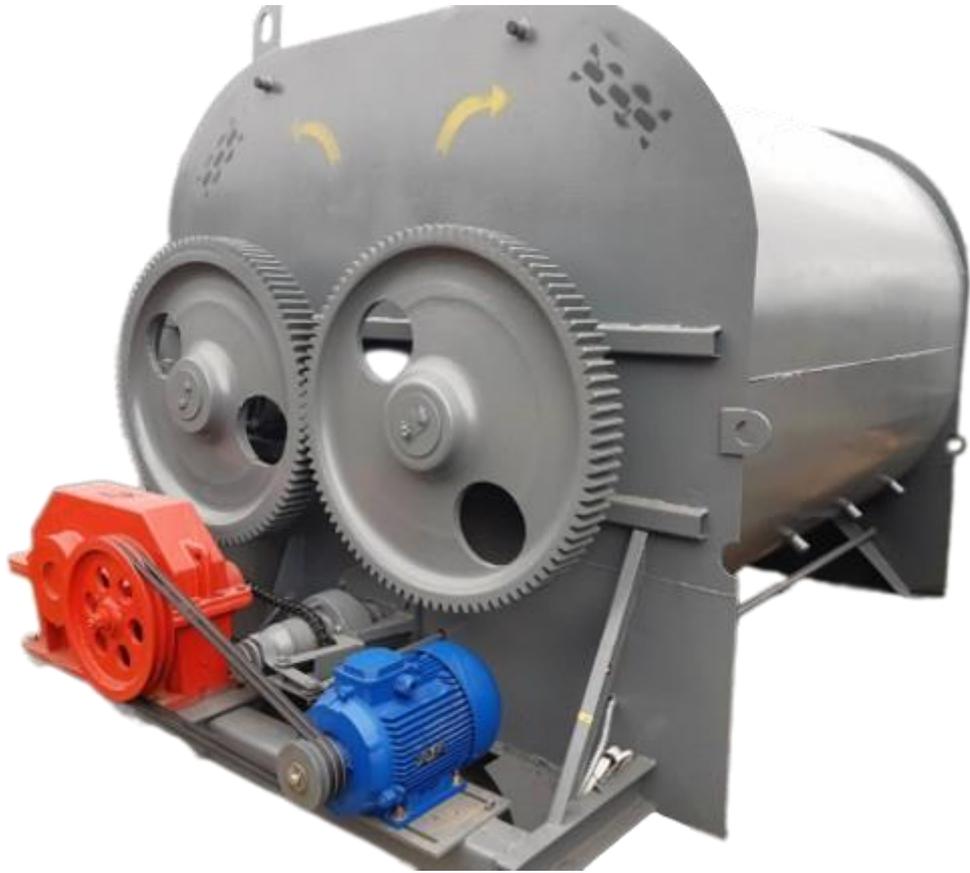


Рисунок 1.25 – Общий вид смесителя С-12

Из зарубежных машин, применяемых для приготовления тепличного грунта, широко распространена продукция фирмы «Urbinati» (Италия): смесители и торфоподатчики.

Смеситель МС 2120 предназначен для смешивания компонентов с различными механическими характеристиками (рисунок 1.26). Благодаря встроенному разгрузочному транспортёру может использоваться для загрузки в бункер другой машины, что позволяет использовать смеситель в составе поточной линии приготовления грунта. Основной рабочий орган – ротор с двойной спиралью, частота вращения 23 об/мин [168]. Привод осуществляется от электродвигателя. Производительность за час чистого времени 1350 кг/ч, позволяет использовать смеситель

только для приготовления рассадной смеси, которой требуется значительно меньше, чем грунта для основного выращивания.



Рисунок 1.26 – Общий вид смесителя MC 2120

Также фирмой «Urbinati» выпускается торфоподатчик CARBB 2400 (рисунок 1.27). Его предназначение – автоматически измельчать большие тюки прессованного торфа (big-bale) и получать однородную массу, готовую к использованию [168]. Рабочий орган представляет собой фрезерную систему, состоящую из зубчатых стальных профилей, которые работают горизонтально по отношению к направлению движения тюка. Благодаря сочетанию подъема тюка и горизонтального скребка получаемый субстрат обладает высокой однородностью и мелким гранулометрическим составом. Тюк, закрытый внутри рабочего пространства машины, сохраняет влагу даже в период остановки устройства, что позволяет в любой момент остановить работу машины без потери качества субстрата. Конструкцией предусмотрено наличие оптического датчика для автоматического контроля уровня загрузки и внешнего индикатора уровня тюка. Обслуживает рабочий процесс один оператор. Производительность смесителя – до трех тюков торфа в час.



Рисунок 1.27 – Общий вид торфоподатчика CARBB 2400

Использование торфоподатчика идеально подходит для рабочей линии, требующей больших объемов производства: его можно вставить в промежуточный бункер для накопления торфа или напрямую в машину, используемую для наполнения контейнеров (рисунок 1.28).



Рисунок 1.28 – Торфоподатчики CARBB 2400 в составе поточной линии

Вышеперечисленные смесители могут работать только с предварительно подготовленными компонентами и в составе технологических линий. Для такой подготовки необходимо использовать дополнительные технические средства: просеиватели, измельчители, погрузчики – все это ведет к дополнительным расходам на их содержание и обслуживание. Несмотря на высокое качество смешивания, производительность стационарных смесителей меньше, чем при смешивании на бетонной площадке мобильными средствами, поэтому стационарные смесители используют в основном для приготовления грунта для рассадных линий, где его требуется значительно меньше, чем для основного цикла выращивания в теплицах.

Для получения двух- или трёхкомпонентных смесей минеральных удобрений, вносимых в тепличный грунт возможно использование машин для смешивания минеральных удобрений. Например, мобильная тукосмесительная установка УТМ-30 с возможностью одновременной загрузки в транспортное средство (рисунок 1.29) [155].



Рисунок 1.29 – Общий вид мобильной тукосмесительной установки УТМ-30

Установка УТМ-30 работает следующим образом (рисунок 1.30). В каждый бункер 2,3,4 погрузчиком засыпаются компоненты, причем дозировка каждого компонента регулируется отдельно, заслонкой 6. На дне каждого бункера установлен поперечный конвейер 7, подающий компонент на продольный транспортер 8, далее по транспортёру компоненты из каждого бункера попадают на лопастной смеситель 11.

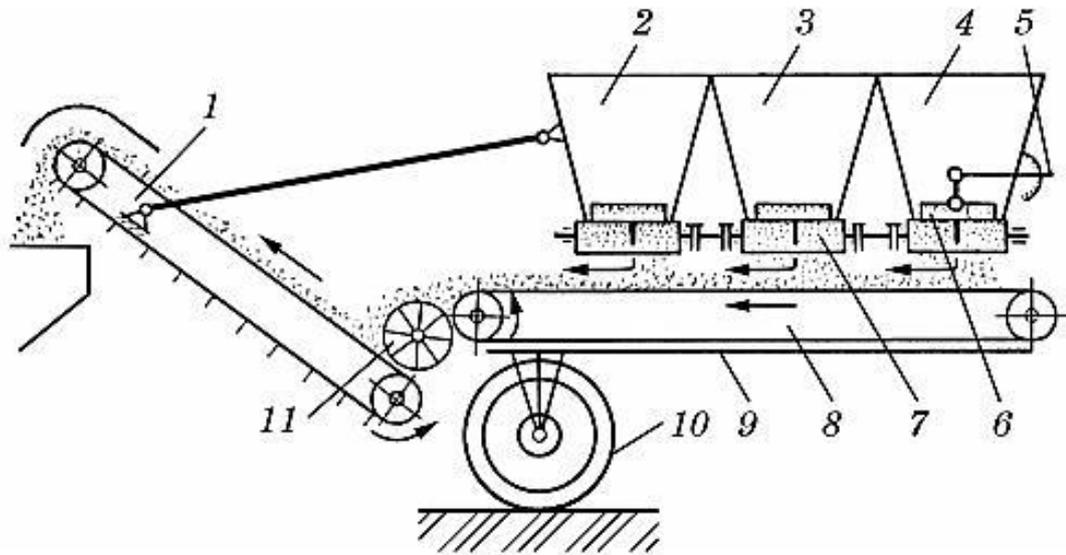


Рисунок 1.30 – Схема устройства мобильной тукосмесительной установки УТМ-30: 1– отгрузочный элеватор; 2,3,4 – бункеры; 5 – регулировочное устройство; 6 – регулировочная заслонка бункера; 7 – поперечный конвейер; 8 – продольный конвейер; 9 – рама; 10 – опорное колесо; 11 – лопастной смеситель

С помощью гаек и контргаяк можно регулировать положения лопаток смесителя, относительно направления движения потока. Готовая смесь отгружаются элеватором 1 в кузов транспортного средства (разбрасывающего агрегата). Производительность установки составляет до 30 тонн в час. Агрегатируется тукосмесительная мобильная установка УТМ-30 с тракторами тягового класса 0,9 и 1,4.

Кроме УТМ -30 широко использовался, для смешивания минеральный удобрений, смеситель-загрузчик удобрений СЗУ-20 (рисунок 1.31, а). Прицепной стационарно-передвижной смеситель-загрузчик предназначен для смешивания минеральных удобрений двух или трех видов непосредственно перед их внесением в почву разбрасывателем.

Смеситель-загрузчик представляет собой одноосный прицеп, на раме которого установлен кузов 3 с двумя перегородками 2, положение которых можно регулировать – таким образом, кузов делиться на три отсека, куда загружаются удобрения (рисунок 1.31, б). В задней стенке кузова имеются отгрузочные окна с регулировочными заслонками – для изменения подачи каждого компонента. После включения транспортёра 1 минеральные удобрения выносятся через отгрузочные окна и попа-

дают в шнековый смеситель 6, откуда выгружаются через элеватор 5. Для дополнительного перемешивания в элеваторе установлен битер 4.

Рабочие органы приводятся в движение от ВОМ трактора типа «Беларусь» или от электродвигателя мощностью 13 кВт. Загрузочная высота машины 1,87 м, производительность 28-37 т/ч. Обслуживается двумя рабочими [140].

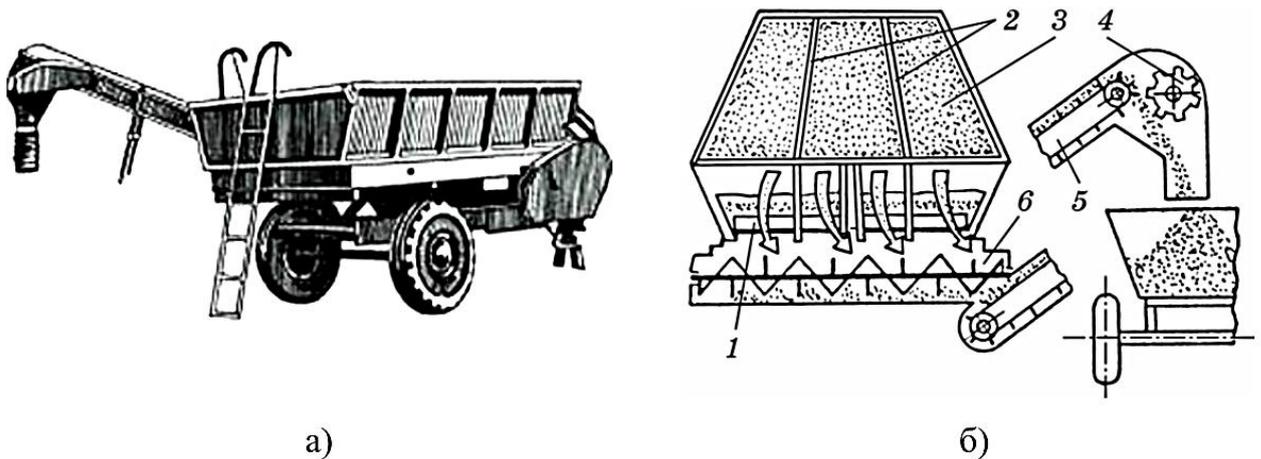


Рисунок 1.31 – Смеситель-загрузчик удобрений СЗУ-20: а) общий вид; б) схема работы: 1 – транспортер; 2 – перегородки; 3 – кузов; 4 – битер; 5 – элеватор; 6 – шнековый смеситель

Также существует группа машин, которые относятся к погрузчикам непрерывного действия, но могут выполнять одновременно с погрузкой и смешивание компонентов. Совмещение процессов достигается за счет особенностей функционирования рабочего органа, который перемещает материал по пространственной траектории с взаимным смещением частиц.

Для погрузки перепревшего навоза, торфа и других органических удобрений с одновременным перемешиванием серийно выпускался погрузчик-смеситель СПУ-40М [91]. Погрузчик агрегируется с трактором типа ДТ (рисунок 1.32). Конструкция СПУ-40М включает два рабочих органа, расположенных один над другим; планчатый отгрузочный транспортер для подачи в кузов транспортного средства. Рабочие органы имеют специальные штифты для фрезерования погружаемого материала. Погрузчик имеет заднюю навеску, поэтому при работе трактор движется зад-

ним ходом. Ширина захвата рабочих органов 1,2 м, высота бурта – до 1,8 м, погрузочная высота – до 3,2 м. Производительность погрузчика-смесителя 40 т/ч, что не соответствует современным требованиям; при этом он имеет высокую энергоемкость: для рабочих органов – 1390 Дж/кг; для погрузчика в целом – 1565 Дж/кг.

Кроме того, погрузчик эффективно может работать с перепревшим навозом, торфом и другими материалами с невысокой влажностью. При увеличении влажности штифты фрезбарабанов забиваются и рабочий процесс нарушается.

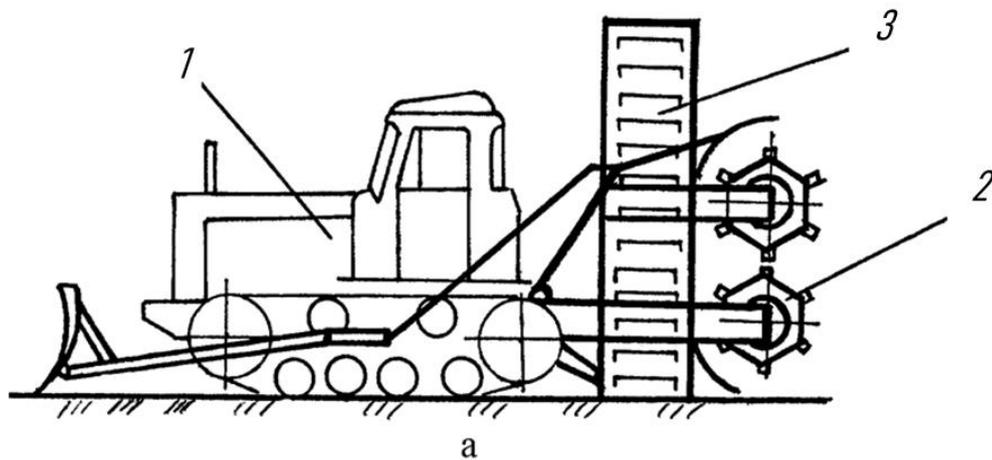


Рисунок 1.32 – Схема смесителя-погрузчика органических удобрений СПУ-40М:
1 – базовый трактор; 2 – питатель; 3 – отгрузочный транспортер

Другими серийно выпускавшимися машинами являются погрузчик-добыватель торфа ПДТ-1,5 и погрузчик непрерывного действия ПНД-45 [92]. Так же, как и СПУ-40М они использовались для погрузки торфа, навоза, органических удобрений, однако рабочий орган был шнекового типа с установленными зубьями. Зубья позволяли грузить уплотненный навоз, обладавший большей прочностью. Отличием от СПУ-40М у этих погрузчиков была более простая задняя навеска. Отгрузочный транспортер – ленточный или скребковый обеспечивал погрузочную высоту до 3,2 м. Привод всех рабочих органов осуществлялся от вала отбора мощности трактора. Недостатки погрузчика-добывателя торфа аналогичны недостаткам предыдущего погрузчика. Производительность погрузки повысилась незначительно – 45 т/ч. Энергоемкость при этом составила 1227 Дж/кг. Серийное производство по-

грузчиков СПУ-40М, ПДТ-1,5, ПНД-45 вследствие низкой производительности было прекращено. Им на смену пришли более производительные погрузчики.

В целом схема работы шнекового рабочего органа позволяет применять такие машины для смешивания и погрузки компонентов тепличного грунта, однако их назначение – погрузка из бурта высотой до 2 метров, что не позволяет применять их в тепличном производстве.

Погрузчик непрерывного действия ПНД-250А (рисунок 1.33) производства ПО «Уманьферммаш», предназначен для погрузки органических и органоминеральных материалов (торфа, навоза, компоста и т.д.) в высокопроизводительные машины для внесения удобрений [96, 217].



Рисунок 1.33 – Общий вид погрузчика непрерывного действия ПНД-250А

Ранее выпускалась модель ПНД-250, но в модели с литерой «А» расширена область применения, включающая погрузку сыпучих материалов (песок, мелкий гравий и т.п.), снижена металлоёмкость машины, а также упрощена конструкция продольного и поперечного транспортеров.

Состоит из рамы, заборного органа, приемного (продольного) и выгрузного (поперечного) транспортеров, гидросистемы, механизма приводов рабочих органов, гидросистемы и ходоуменьшителя. Заборный орган представляет собой питатель включающий отвал и фрезу, причем фреза имеет две части шнековую – оснащенную режущими сегментами и фрезерную – выполненную в виде лопаток на стойках. Для предотвращения забивания фрезы установлена предохранительная муфта.

При выполнении технологического процесса заборный орган переводят в рабочее положение, опуская на горизонтальную поверхность. Фреза питателя врезаясь в массив материала захватывает его часть и перемещает в левую часть ковша, откуда материал попадает на продольный транспортёр, с него – на выгрузной, и затем либо в кузов транспортного средства, либо перемешанный материал укладывается на площадке.

Основные параметры ПНД-250А: высота погрузки – 3,2 м; производительность в час основного времени на погрузке навоза – 200 т/час, при погрузке торфа – 150 т/час; рабочая скорость 0,25 км/ч, транспортная 8,0 км/ч. Поставляется в комплекте с тракторами типа ДТ-75. Обслуживает один тракторист.

Данные погрузчики предназначены для работы с большими объемами органических удобрений в условиях крупных хозяйств, поэтому основные исследования были направлены на получение высокой производительности. Процесс смешивания практически не исследовался. Для условий тепличного хозяйства данный погрузчик не обеспечивает необходимого качества тепличного грунта из-за недостаточного измельчения компонентов и их перемешивания. Для тепличного производства необходим погрузчик с меньшей производительностью, но с высоким качеством смешивания.

Проведенный обзор технических средств, применяемых для приготовления тепличных грунтов, позволил выявить их низкую производительность и низкое качество смешивания, не приспособленность к условиям тепличного производства и необходимость доводить полученную грунтовую смесь до нормы, определяемой агротехническими требованиями с использованием ручного труда (из-за несоответствия условиям применения относится практически ко всем машинам).

Анализ существующих конструкций, используемых для приготовления тепличного грунта, показывает, что специальных погрузчиков-смесителей для работы в условиях теплиц не разрабатывалось и не исследовалось. Стационарные смесители могут работать только в условиях технологических линий, имеют небольшую производительность и требовательны к компонентам, из которых готовится грунт. В большом тепличном производстве погрузчики-смесители имеют существенные преимущества, поэтому проведение исследований, позволяющих обосновать их параметры, является актуальной проблемой.

1.4.3 Анализ существующих технических средств, применяемых для удаления тепличного грунта после его использования

Анализ различных литературных источников и производственного опыта позволил определить, что так же, как и в других операциях технологического процесса для удаления тепличного грунта используют машины из других отраслей сельскохозяйственного производства, приспособивая их к условиям теплиц.

В большинстве производств тепличный грунт удаляют из теплицы с помощью бульдозерной навески на трактор, выталкивая порциями к центральному проезду для последующей погрузки.

Широкое распространение для выполнения этой операции получили различные модели ковшовых мини-погрузчиков. Среди отечественных производителей следует выделить Курганский завод дорожных машин, который выпускает погрузчики марки «Termit» на колесном шасси. Например, модель «Termit 1000» – предназначена для работы с грунтом и перемещением любых сыпучих материалов. Объем ковша составляет $0,48 \text{ м}^3$, грузоподъемность 1000 кг, высота подъема ковша – 3,1 м, Эксплуатационная масса – 3100 кг. Управление рабочими органами – механическое через тросовую передачу [218].



Рисунок 1.34 – Общий вид мини-погрузчика «Termit 1000»

ПАО «Курганмашзавод» производит мини-погрузчики марки МКСМ-800 и МКСМ-1000, различающихся грузоподъемностью. Оснащаются универсальным ковшом, который может использоваться в качестве отвала для перемещения и разравнивания грунта. К режущей кромке ковша приварен нож из износостойкого материала. На модели МКСМ-800 ширина ковша – 1,73 м, объем ковша – 0,46 м³, максимальная грузоподъемность – 800 кг, полная масса машины – 3700 кг [219].



Рисунок 1.35 – Общий вид мини-погрузчика МКСМ-800

Другим способом является применение навесных на трактор МТЗ ковшевых погрузчиков типа ПКУ (рисунок 1.23) или ПГ-0,2 (рисунок 1.34) на самоходном шасси Т-16 [102].



Рисунок 1.36 – Общий вид погрузчика ПГ-0,2 на самоходном шасси Т-16

Недостатки такого способа связаны с необходимостью маневрирования и многократных заездов в ограниченное пространство теплицы, поскольку грунт удаляется небольшими частями. Недостаточная производительность и высокая энергоемкость также обуславливают поиск других технических средств.

В некоторых случаях для удаления и погрузки тепличного грунта используются универсальные погрузчики Д-452 (рисунок 1.37) погрузочная машина МВС-4М (рисунок 1.38) [154, 216].

Несмотря на различное назначение, данные машины имеют схожее устройство. На самоходном шасси установлены заборный рабочий орган – питатель шнекового типа, отгрузочный транспортер и кабина с органами управления. Шнековый рабочий орган позволяет достаточно эффективно подбирать материал с небольшой высотой укладки, однако при этом конструктивно-технологическая схема машины громоздкая, маломаневренная, что не позволяет использовать ее внутри помещений.



Рисунок 1.37 – Общий вид погрузчика Д-452



Рисунок 1.38 – Общий вид погрузочной машины МВС-4М

Для удаления грунта из теплицы, возможно использовать телескопические погрузчики, такие как TLH-3507, производства компании «ОМГ СДМ» (Россия) [215]. Погрузчик предназначен для погрузки и перевалки различных грузов: корнеплодов, зерна, грунта, а также может быть использован для раздачи кормов,

сена и силоса на животноводческих комплексах; проведения земляных и ландшафтных работ (рисунок 1.39).



Рисунок 1.39 – Общий вид телескопического ковшового погрузчика TLH-3507

Основные характеристики погрузчика, оснащенного ковшом: максимальная высота подъема груза – 7040 мм; вылет максимальной высоты – 1380 мм; максимальная грузоподъемность – 3500 кг; максимальный вылет вперед – 4350 мм; грузоподъемность на максимальном вылете – 1200 кг. Габаритные размеры: длина 6450 мм, ширина 2450 мм, высота 2480 мм.

Высота погрузчика позволяет ему работать внутри теплицы, но габариты (радиус разворота по ковшу – 5430 мм) затрудняют маневрирование, что снижает эффективность его использования для удаления грунта.

Таким образом, рассмотрены все наиболее распространенные технические средства для механизации основных технологических процессов с тепличным грунтом. Существуют отдельные патенты, опытно-конструкторские разработки и опытные образцы, не нашедшие практического применения.

Проведенный анализ технологических процессов приготовления и использования тепличного грунта и используемых средств механизации позволил установить отсутствие серийно выпускающихся специализированных технических средств для приготовления тепличного грунта, а используемые в настоящее время для приготовления грунта машины и оборудования относятся к другим отраслям

сельского хозяйства. Использование данных машин для приготовления тепличного грунта ведет к снижению производительности, увеличению эксплуатационных затрат, перерасходу материальных и трудовых ресурсов, поскольку параметры рабочих органов машин обоснованы для других условий работы.

Таким образом, складывается **проблемная ситуация** заключающаяся, с одной стороны, в необходимости наращивания объемов продукции тепличного производства для удовлетворения растущих потребностей населения и, с другой стороны, в отсутствии эффективных технических средств, адаптированных к условиям тепличного производства и позволяющих с наименьшими затратами обеспечить рост производства продукции. Данное противоречие между потребностью производства в увеличении выпуска продукции и наличием технических средств выпускаемых в настоящее время является источником возникновения научной проблемы.

Для выявления направлений решения проблемной ситуации и совершенствования технического обеспечения потребностей производства проведем анализ существующих научных исследований по указанной проблеме.

1.5. Обзор научных исследований по совершенствованию технологических процессов приготовления и использования тепличного грунта

В связи с тем, что мобильных машин, специализированных для приготовления и использования тепличного грунта, практически серийно не выпускалось, существующие работы представляют собой исследования машин, которые возможно приспособить или уже использовались для работы с тепличным грунтом и его составляющими.

Для укладки компонента тепличного грунта используются разбрасыватели органических и минеральных удобрений, оснащенные рабочими органами различных конструкций, которые исследовались рядом ученых.

Доктор технических наук, профессор Хмыров Виктор Дмитриевич занимался исследованиями разбрасывателей органических удобрений, в частности

машиной для внесения органических удобрений в гранулированном виде [289]. В ходе разработки данной машины им установлена зависимость производительности разбрасывания от различных параметров в полевых условиях:

$$Q_p = 0,1vBT, \quad (1.1)$$

где v – скорость движения агрегата, км/ч; B – рабочая ширина разбрасывания гранул, м; T – время работы разбрасывателя, ч.

Кроме этого, им установлен характер зависимости производительности от поступательной скорости движения разбрасывателя при работе в полевых условиях, представленный на рисунке 1.40 и соответствующее уравнение регрессии.

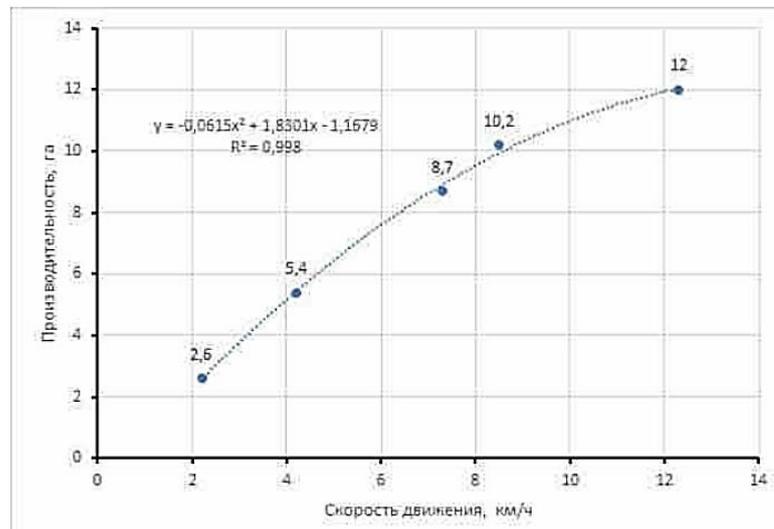


Рисунок 1.40 – График зависимости производительности Q_p (Га) от скорости движения разбрасывателя v (км/ч) при работе в полевых условиях

Анализ графика показывает, что производительность увеличивается практически прямо пропорционально увеличению скорости и достигает максимальных значений при скорости 12 км/ч, а далее начинает снижаться, что объясняется тем, что разбрасывающий орган – «крылач» не справляется с разбрасыванием всей подаваемой на него массы гранулированных удобрений.

Также профессором В. Д Хмыровым исследовались механические свойства гранул органических удобрений и установлена графическая зависимость насыпной плотности от размера гранул.

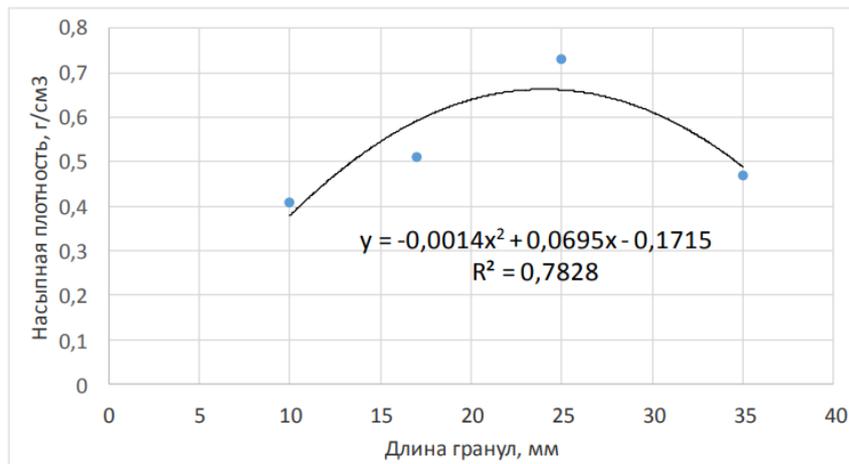


Рисунок 1.41 – График и уравнение регрессии, описывающие зависимость насыпной плотности гранул органических удобрений (г/см^3) от длины гранул (мм)

Анализ графика (рисунок 1.41) показывает наличие оптимальных значений насыпной плотности в диапазоне размера гранул органических удобрений от 23 до 28 мм.

Изучением процесса разбрасывания и обоснованием параметров лопастных рабочих органов машин для внесения твердых органических удобрений занимался кандидат технических наук, профессор Щербаков Сергей Иванович [297].

Им найдено условие сброса порции удобрений лопастью барабана (рисунок 1.42):

$$m \cdot g \cdot \cos \gamma + m \cdot r \cdot \omega^2 \geq f(m \cdot g \cdot \sin \gamma + 2 \cdot m \cdot \omega \cdot v_r). \quad (1.2)$$

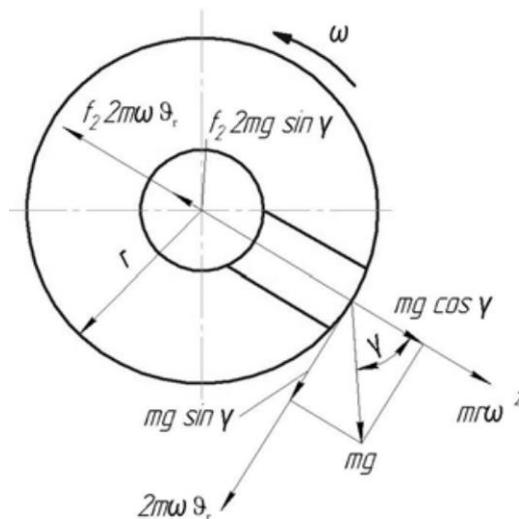


Рисунок 1.42 – Схема действия сил на лопасть подающего барабана

Также установлено выражение для определения общего угла поворота лопасти барабана:

$$\varepsilon_0 = \frac{l_k}{r}, \quad (1.3)$$

где l_k – длина дуги контакта лопасти с массивом удобрения, м. Значение дуги может быть рассчитано по выражению:

$$l_k = 2 \cdot \sqrt{r^2 - (r - S_z)^2}, \quad (1.4)$$

где S_z – глубина захода лопасти в массив удобрения, м.

Обоснованы выражения для нахождения углов вылета частиц удобрений в начале и конце схода с лопасти, как видно они неодинаковы:

$$a_{0н} = 90^\circ - \left(\frac{\varepsilon_0}{2} + \psi_n\right), \quad (1.5)$$

$$a_{0к} = 90^\circ - \left(\frac{\varepsilon_0}{2} + \omega T - \psi_k\right). \quad (1.6)$$

Установлено выражение для определения ширины распределения лопастным барабаном твердых органических удобрений:

$$B_0 = 2 \cdot x_{\max} \cdot \cos \alpha + L_б, \quad (1.7)$$

где $L_б$ – длина барабана, м.

Если используются машины с изменяемым углом наклона для дифференцированного распределения твердых органических удобрений, то требуется определить высоту расположения верхнего барабана:

$$H_0 = H_1 + \sin \alpha_б \cdot l, \quad (1.8)$$

где H_1 – расстояние от поверхности поля до подающего барабана, м; l – расстояние между осями подающего и распределяющего барабанов, м.

Изучением процесса работы разбрасывателя сухих неорганических смесей занимался кандидат технических наук Белоусов Сергей Витальевич [27]. Им определено выражение для определения коэффициента абсолютной скорости схода частиц. Основной рабочий орган данных машин – вращающийся диск, поэтому процесс работы можно разделить на две фазы: относительное перемещение туков по диску с момента их попадания на него; падения частиц удобрений в горизонтальной плоскости с установленной скоростью.

Когда частица будет сходить с поверхности диска будет выполняться условие (рисунок 1.43):

$$\bar{v}_a = \bar{v}_e + \bar{v}_r, \quad (1.9)$$

где, v_a – абсолютная скорость частицы, v_r – окружная (переносная) скорость, v_e – относительная скорости движения вдоль лопасти.

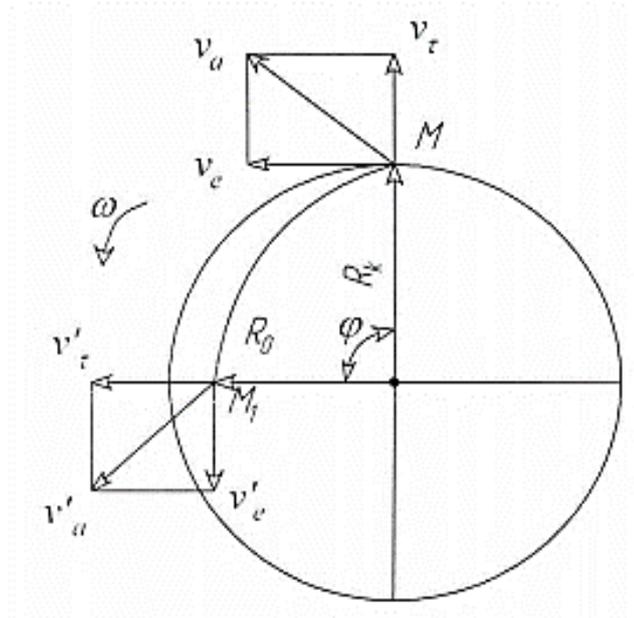


Рисунок 1.43 – Схема к расчету коэффициента абсолютной скорости

При проведении практических расчетов полагают, что скорость v_a приблизительно равна скорости v_e , так как ее влияние на скорость, v_a незначительно т.е.

$$v_a \approx v_e. \quad (1.10)$$

Это условие выполняется только для разбрасывающего диска, имеющего постоянный радиус по всей окружности. В случае если профиль выполнен по кривой MM1 (рисунок 1.43) при условии $v_a = \text{const}$, то радиус-вектор определится по выражению:

$$\rho_k = \rho_0 \frac{1-c^2}{2C} \sin\varphi_k + \rho_0 \cos\varphi_k. \quad (1.11)$$

где ρ_0 – радиус-вектор, ближайший к оси вращения, мм; C – постоянная интегрирования, φ_k – угол, определяющий расчетную часть диска.

Определена формула для расчета полного превращения радиуса по профилю в безразмерных величинах $\alpha = x \sin\varphi_k + \cos\varphi_k$, из которой:

$$X = \frac{(\alpha - \cos\varphi_k)}{\sin\varphi_k}. \quad (1.12)$$

Принимая во внимания эти допущения, выражение для коэффициента абсолютной скорости примет вид:

$$v(\varphi) = \sqrt{\rho^2(\varphi) + \left[\frac{d\rho(\varphi)}{d\varphi}\right]^2}. \quad (1.13)$$

Выражение (1.13) возможно использовать для оценки абсолютной скорости любой точки кривой. Принимая $v(\varphi) = \text{const}$ выражение (1.13) примет вид:

$$\begin{aligned} v &= [(x\sin\varphi_k + \cos\varphi_k)^2 + (x\sin\varphi_k - \cos\varphi_k)^2]^{1/2} = \\ &= (x^2\sin^2\varphi + 2x \cdot \sin\varphi \cdot \cos\varphi + \cos^2\varphi + x^2\cos^2\varphi - 2x \cdot \cos\varphi \cdot \sin\varphi + \\ &\quad \sin^2\varphi)^{1/2} = (x^2 + 1)^{1/2} = \text{const}, \end{aligned} \quad (1.14)$$

Помимо этого, С.В. Белоусовым найдено выражение для определения мощности, необходимой для разбрасывания удобрений одним дисковым рабочим органом:

$$N_\phi = \frac{QB_p V_M g}{28,810^7 \cdot k_n^2 \cdot H} \cdot \exp(2k_n m + 2k_n^2 \sigma^2) \Phi[(2k_n \sigma + 3) - \phi(2k_n \sigma - 3)], \quad (1.15)$$

где Q – норма внесения удобрений, кг/га; B_p – рабочая ширина захвата, м; H – высота расположения рабочего органа, м; V_M – скорость движения агрегата, км/ч; k_n – коэффициент парусности удобрений; m – математическое ожидание дальности полета частиц удобрений; σ – среднеквадратичное отклонение.

Для получения качественного тепличного грунта необходимо, чтобы все его компоненты были тщательно перемешаны. Изучением процесса смешивания различными рабочими органами занимались ряд исследователей.

Профессор, кандидат технических наук Новиков Владимир Васильевич исследовал показатели работы смесителя с винтовыми лопастями сыпучих материалов [157-159]. В своих работах он ставил целью снижение энергетических затрат лопастного смесителя. Им установлено выражения для определения данных энергозатрат:

$$Y = \frac{A}{M} = \frac{\sum(N_i \cdot T_i)}{M}, \quad (1.16)$$

где «А – работа, затраченная на приготовление смеси, Дж; М – масса приготовленной смеси, кг; N_i – затраченная мощность на выполнение i -й операции технологического процесса, Вт; T_i – длительность выполнения i -й операции технологического процесса, с» [157].

«Производительность каждого дозатора определяется долей конкретного компонента в составе рецептуры смеси. Суммарная производительность всех дозирующих устройств определяется производительностью смесителя, обеспечивающей соблюдение зоотехнических требований по показателям качества смеси, кг/с» [157]:

$$Q_{см} = \frac{M}{T_{ц}}, \quad (1.17)$$

где $T_{ц}$ – длительность цикла смесителя, с.

«Мощность, затрачиваемая на работу всего смесительного агрегата, определяется как суммарная мощность, потребляемая на привод всех устройств в его составе. При этом потребление энергии каждым вращающимся рабочим органом зависит от площади его поперечного сечения и окружной скорости. Мощность, затрачиваемая на привод лопастной мешалки N_M , можно определить с учетом площади контакта лопасти с материалом и геометрических параметров самих лопастей» [157]:

$$N_M = \sum_Z \sum_{i=1}^k (F_{P_i} \cdot V_{P_i} + F_{O_i} \cdot V_{O_i}). \quad (1.18)$$

Соответственно, « Z – количество лопастей, вступающих в контакт со смешиваемым материалом; F_p , F_o – радиальная и окружная составляющие силы сопротивления материала, действующего на лопасть, Н; V_p , V_o – радиальная и окружная скорости точки приложения равнодействующей сил сопротивления материала, действующих на лопасть, м/с» [157].

Составляющие мощности предлагается найти по выражениям:

$$F_{pi} = 9,81 \cdot \rho \cdot S_{Li} \cdot \Delta L \cdot \text{tg}^2 \cdot (45^\circ + \chi/2) \cdot [\cos\alpha_i + f_1 \cdot \sin\alpha_i], \quad (1.19)$$

$$F_{oi} = 9,81 \cdot \rho \cdot S_{Li} \cdot \Delta L \cdot \text{tg}^2 \cdot (45^\circ + \chi/2) \cdot [\sin\alpha_i + f_1 \cdot \cos\alpha_i]; \quad (1.20)$$

$$V_{pi} = \omega \cdot [0,5 \cdot L_i + b_i], \quad (1.21)$$

$$V_{oi} = V_p \cdot \cos\alpha_i \cdot \sin\alpha_i, \quad (1.22)$$

«где $\Delta L = L / \kappa$ – длина интервала изменения длины лопасти; L_i – длина лопасти, м; b_i – ширина лопасти, м; $\chi = \arg \operatorname{tg} (f_1)$ – угол трения материала по лопасти, град.; f_1 – коэффициент трения материала по лопасти; γ – угол отгиба лопасти, град.; α – угол установки лопасти к плоскости вращения, град.; S_L – площадь лопасти, м²; i – номер текущих значений факторов изменяется от 1 до κ » [157].

Доктор технических наук, профессор Коновалов Владимир Викторович, и доктор технических наук, доцент Терюшков Вячеслав Петрович, в своих работах занимались проблемой повышения качества смешивания в лопастных смесителях сыпучих материалов [270, 271].

Полученные ими результаты позволили установить влияние факторов на неравномерность смешивания, описываемого коэффициентом вариации контрольного компонента v_{nL} , а также вывести полиномиальное уравнение регрессии (1.23) и соответствующую ему графическую зависимость (рисунок 1.44):

$$v_{nL} = 0,01 \cdot e [11,5618 \cdot (8,0373/n)^{0,261775} \cdot (0,815978L)^{28,13775}] \quad (1.23)$$

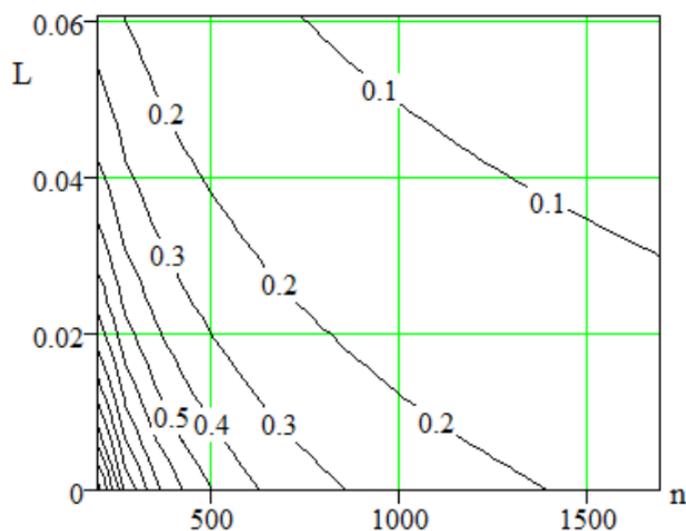


Рисунок 1.44 – Зависимость коэффициента вариации неравномерности смеси v_{nL} от частоты вращения n (мин⁻¹) и длины лопаток L (м)

Также авторами «на основании соотношения функции степени для переменных частоты вращения и угла установки лопастей с обоснованными параметрами в функции степени показательной функции рассчитано выражение эмпири-

ческого коэффициента интенсивности смешивания, учитывающего влияние длины лопаток и частоты вращения» [271]. Получено уравнение регрессии (1.24) и соответствующая графическая зависимость (рисунок 1.45).

$$k = K_{nL} = 0,1542453 / (1/n)^{0,261775} \cdot (0,815978L)^{28,13775}. \quad (1.24)$$

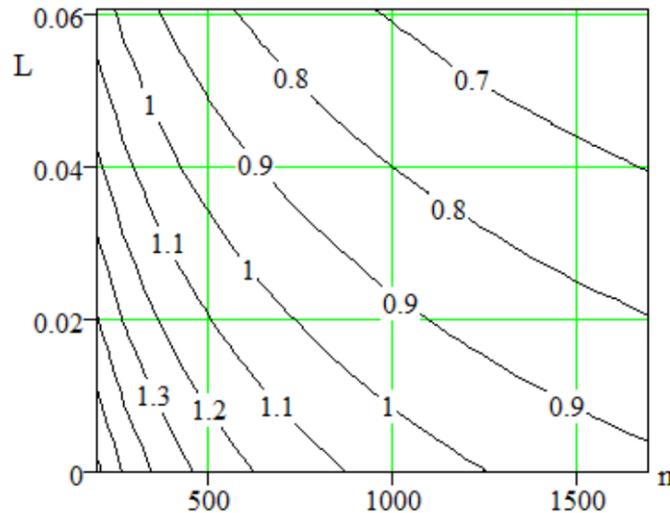


Рисунок 1.45 – Влияние частоты вращения мешалки n (мин-1) и длины лопаток L (м) вне лопастей на эмпирический коэффициент K_{nL}

Характер изменения значений эмпирического коэффициента интенсивности смешивания, говорит о том, что с увеличением качества смешивания числовые значения коэффициента снижаются.

Исследованием процесса работы машины для приготовления торфоперегнойной массы СТМ-8/20 (рисунок 1.24) посвящены работы доктора технических наук Липова Юрия Нойевича [124]. В частности, получено уравнение для определения производительности ($Q_{б1}$, кг/с) бункера-дозатора смесителя:

$$Q_{б1} = \rho_1 \cdot a_1 \cdot h_1 \cdot v_{л1}, \quad (1.25)$$

где ρ_1 – плотность первого дозируемого компонента, кг/м^3 ; a_1 , h_1 – ширина и высота выходной щели первого бункера-дозатора, м; $v_{л1}$ – скорость ленты транспортера, м/с.

Конструкция смесителя предполагает совмещение операции смешивания с отделением примесей. В качестве сепарирующего органа был выбран сепарирующий диск и определена его пропускная способность (J , кг/с):

$$J = Q \cdot e^{-\mu L}, \quad (1.26)$$

где Q – количество поступающей на сепаратор массы, кг/с; L – длина сепаратора, м; μ – коэффициент сепарации, 1/м.

Применение сепарирующего диска способствует выравниванию гранулометрического состава перед попаданием в главный рабочий орган – смесительную камеру, основное габаритное соотношение определяется выражением:

$$D^2 \cdot L_c = \frac{2Q_{\text{п}}T}{9,7} \cdot \sqrt{\frac{1}{(S_0/S_1)^2} + 1}, \quad (1.27)$$

где D – диаметр смесительной камеры, м; L_c – длина смесительной камеры, м; $Q_{\text{п}}$ – производительность смесителя, м³/с; T – время периода смешивания, с; S_0, S_1 – дисперсии концентрации компонентов при выходе и входе смесительной камеры.

Смешивание осуществляет ротор с лопатками, установленными вдоль оси ротора. Скорость перемещения частиц вдоль оси (V_x , м/с) в смесительной камере может быть найдена по выражению:

$$V_x = R_c \cdot \text{tg}\alpha \left\{ \omega - \sqrt{\frac{g}{R \cdot f_1 \cdot \cos \beta \cdot [\text{ctg}(\alpha + \varphi) - \text{tg}\beta]}} \right\} \quad (1.28)$$

где R_c – радиус смесительной камеры, м; α – угол между плоскостью лопатки и осью ротора, рад.; ω – угловая скорость, рад/с; f_1 – коэффициент трения частицы массы о кожух, β – угол между направлением абсолютной скорости движения и вертикальной плоскостью, рад.; φ – угол трения смешиваемой массы о лопасть (сталь), рад.

Тогда общая производительность смесителя (Q , кг/с):

$$Q = 47,1 \cdot [(D + 2 \cdot l_z)^2 - d^2] \cdot V_x \cdot \psi \cdot \gamma, \quad (1.29)$$

где D – диаметр барабана, м; l_z – зазор между лопастью и кожухом, м; d – диаметр вала ротора, м; ψ – коэффициент загрузки смесительной камеры; γ – плотность смеси, кг/м³.

Исследованием установлено, что на качество смешивания наибольшее влияние оказывают скорость вращения ротора, длина смесительной камеры, угол установки лопаток, коэффициент загрузки камеры смесителя.

Доктор технических наук Павлов Павел Иванович, в своих работах исследовал процесс работы погрузчиков непрерывного действия для погрузки навоза [176]. Проведены работы по изучению проблем ресурсосбережения при работе данных машин, представлены исследования кинематики и динамики движения рабочих органов и обоснованы их параметры.

Для определения производительности лопастного питателя с осью вращения под углом к направлению поступательного движения, включающие все основные параметры получено выражение:

$$Q = \frac{\rho z_t \omega k_0 H}{2\pi} \left[\frac{v_{\Pi} R_p}{\omega} \cos(\omega t) + \frac{R_p^2 \omega \cos \alpha}{2} t - \frac{R_p^2 \cos \alpha}{4} \sin(2\omega t) \right], \quad (1.30)$$

где z_t – число лопастей ротора лопастного питателя в массиве груза в момент времени t ; H – высота лопасти, м; R_p – радиус ротора, м; ω – угловая скорость вращения лопастей, рад/с; v_{Π} – поступательная скорость питателя, м/с; ρ – плотность навоза, кг/м³.

Также предлагается определять общую мощность питателя как сумму мощностей, затрачиваемых на фрезерование и транспортирование:

$$P_p = \sigma_p b h k_{\xi} z_t l_2 \frac{\omega}{\pi}; \quad (1.31)$$

$$P_{nep} = \rho k_0 H z_t (1 + f) \left[\frac{v_{\Pi} R_p}{\omega} \cos(\omega t) + \frac{R_p^2 \omega \cos \alpha}{2} t - \frac{R_p^2 \cos \alpha}{4} \sin(2\omega t) \right] \cdot \left(\frac{\omega^3 R_{\Pi}^2}{\pi} + g \omega R_{\Pi} (f + \sin \alpha) \right), \quad (1.32)$$

где k_{ξ} – коэффициент изменения толщины режущей кромки при работе лопасти; l_2 – длина траектории движения режущей кромки лопасти, м; t – время прохождения режущей кромкой траектории l_2 , $t = 1/(2n) = \pi/\omega$, с; z_t – число лопастей, отделяю-

щих навоз в момент времени t ; R_p – радиус лопастей; ω – угловая скорость вращения лопастей (рад/с).

Процесс смешивания компонентов тепличного грунта можно рассматривать как производный процесс (вторичный) от процесса фрезерования, поэтому за основу для расчёта мощности могут быть приняты выражения д.т.н. А.Д. Далина и к.т.н. Н.В. Павлова обоснованные для прицепной фрезы [175]:

$$N = \frac{fGv_{mp}}{75} \pm \frac{N_{фрез}v_{mp}}{v_{окр}} + \frac{pbshzn}{60 \cdot 75 \cdot 100} + \frac{k_{отб}m(v_{окр} \pm v_{mp})^2}{2 \cdot 75} + N_{фрез}(1-\eta) \quad (1.33)$$

Выражение (1.33) является суммой мощностей, затрачиваемых на передвижение прицепной фрезы, подталкивание, фрезерование, отбрасывание грунта барабаном фрезы. Основным членом данного выражения является мощность, необходимая для фрезерования грунта:

$$N_{фрез} = \frac{psbhzn}{60 \cdot 75}, \quad (1.34)$$

где p – удельное сопротивление деформации, Н/мм²; s , b , h – размеры образующейся стружки, мм; z – число ножей; n – частота вращения фрезы, мин⁻¹.

Экспериментальными исследованиями Н.В. Павлова определены показатели эффективности погрузчика СПУ-40М: наибольшая производительность – 40 т/ч (11,1 кг/с); энергоёмкость питателя 1390 Дж/кг; погрузчика в целом 1565 Дж/кг [174].

Кандидатом технических наук Логутенком Э.П. предложены выражения для теоретического определения работы фрезерования [113]:

$$A_{mp} = m_2 \frac{v_1^2}{R_1^2} R l f_1 \sin \alpha \left(\frac{1}{\Delta r} + \frac{1}{r} \right) L k_\sigma + m_1 \frac{v_1^2}{R_1^2} f_2 L k_\sigma; \quad (1.35)$$

$$A_k = \frac{m_1 v_1^2}{2}; A_o = \frac{m_1 m_2 v_1^2}{2(m_1 + m_2)} k_\sigma, \quad (1.36)$$

где A_{mp} – работа, необходимая для преодоления сопротивления сил трения; A_k – работа, необходимая для отбрасывания материала; A_o – работа, необходимая для деформации материала; R – радиус барабана фрезы; R_1 – расстояние от центра тяжести молотка до центра барабана фрезы; r – радиус шарнира, l – расстояние от

центра тяжести шарнира до центра тяжести молотка; f_1 и f_2 – коэффициенты трения материала о молоток и внутреннего трения молотка; L – путь, проходимый молотком в материале; v_I – скорость материала; k_σ – коэффициент, учитывающий деформирование груза.

Получено выражение для определения мощности затрачиваемой на отделение части органических удобрений от основного массива:

$$N_{cp} = \frac{Q}{\eta_m} \left\{ \frac{A_s \eta_{v3} \eta_s \sqrt[3]{n}}{\eta_3 \gamma} + \frac{\eta P_0^2}{\eta_3 \eta_0 k} \cdot \frac{\ln ch\left(\frac{k}{P}\right)}{l} + \frac{gfl}{\eta_3} \left[\frac{\eta_A}{\eta_0} + \eta_{p0} + \frac{\eta_B^2 \eta_l}{2\eta_0^2} \left[g^2 \left(45^\circ - \frac{\varphi}{2} \right) \right] + gh + \frac{v^2}{2} \right] \right\}, \quad (1.37)$$

где N_{cp} – средняя мощность при погрузке; Q – производительность погрузчика; l – длина стенки; φ – угол внутреннего трения; γ – объемный вес материала; f – коэффициент внешнего трения; P_0 – предел несущей способности органического удобрения; $\eta_m; \eta_{v3}; \eta_s; \eta_3; \eta_k; \eta_A; \eta_0; \eta_{p0}; \eta_l; \eta_B$ – коэффициенты.

Большой объем теоретических и экспериментальных исследований рабочих органов погрузчиков органических удобрений с осью вращения перпендикулярной движению машины выполнил Линник Николай Кондратьевич [122, 253].

Для расчета мощности на фрезерование материала предложено выражение на основе работы резания, числа оборотов фрезы в минуту n и числа режущих элементов z рабочего органа:

$$N_p = \frac{W_p \cdot n \cdot z}{60 \cdot 136}. \quad (1.38)$$

В рамках изучения средств выгрузки и внесения органических удобрений этими же учеными проведены экспериментальные исследования погрузчика ПНД-45 с двухбарабанным питателем. В качестве барабанов использованы шнековые фрезы. Исследованиями установлено, что производительность 45 т/час достигается при высоте бурта 1,5 м и скорости подачи 80...100 м/час. Энергоемкость при этом составила 1227 Дж/кг, из них на работу питателя 1060 Дж/кг [122]. Также установлена энергоемкость шнекофрезерного погрузчика с метателем (конструкции ВИМ), которая составила 1445 Дж/кг, причем энергозатраты на за-

хват груза составили 205 Дж/кг, производительность – 180 т/ч. Наибольшая производительность получена у погрузчика с роторно-ковшовым питателем – 194 т/ч при энергоемкости погрузчика 264 Дж/кг, питателя – 120 Дж/кг [217].

Данные рабочие органы предназначены для погрузчиков непрерывного действия. Их работа как погрузчиков-смесителей не рассматривалась.

Исследованиям рабочих органов погрузчиков непрерывного действия для органических удобрений посвящены также работы ученых Пажера В.И. [205], Сильве О.А. [262], Хакимзянова Р.Р. [283-285], Левченко Г.В.[117], Хитровой Н.В.[288], Гвоздевой Л.В.[49].

Пажера Викторос Йозо установил влияние числа оборотов и некоторых конструктивных параметров на усилия и работу фрезерования, а также на работу ротационного резания. Сильве Арвид Оттович исследовал процессы работы фрезбарабана и установил, что 80...85% общей мощности привода фрезбарабана расходуется на резание удобрений.

Доктор технических наук Миронов Владимир Витальевич изучал процесс перебивки компостных буртов ворошителем оснащенным роторным рабочим органом [152].

Условием захвата материала является поворот лопасти ротора на угол $\alpha_{пз}$ (рисунок 1.46). При дальнейшем увеличении угла поворота материал отрывается от поверхности лопатки – при достижении угла начала схода $\alpha_{пн}$ и продолжает сходить до достижения значения угла $\alpha_{пк}$ – угол окончания схода.

Автором найдено, что «значение абсолютной скорости вылета в плоскости вращения барабана определяется геометрическим суммированием ее радиальной и окружной ($V_{en} = \omega_n r_b$) составляющих, с учетом поправки на осевую скорость движения» [152]. Получено выражение:

$$V_{0n} = \sqrt{\frac{V_{rAn}^2 + V_{en}^2}{1 - \sin^2 \beta \cos^2 \beta}}, \quad (1.39)$$

где β – угол наклона, рад; V_{0An} – значение абсолютной скорости (радиальная составляющая) вылета частицы, рад/с.

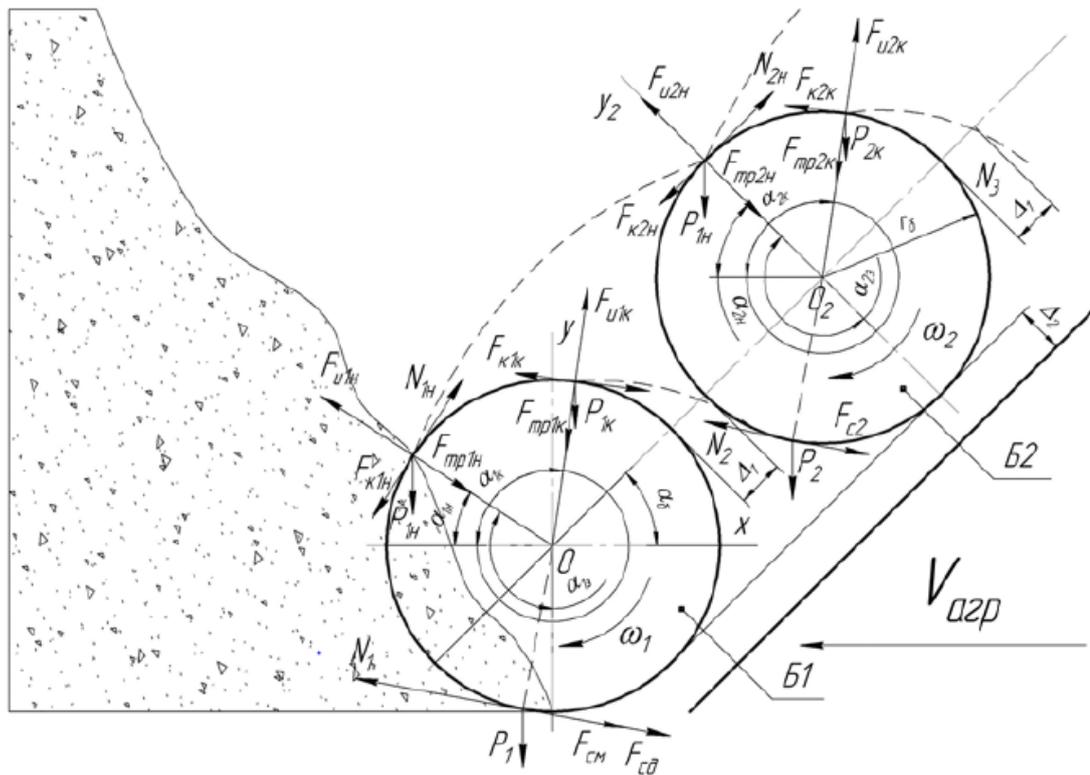


Рисунок 1.46 – Схема взаимодействия первого и второго барабанов машины с материалом: Б1 и Б2 – первый и второй барабаны; 1 – поддон; Δ_1 – расстояние между лопастями соседних барабанов; Δ_2 – зазор между барабанами и поддоном; $\alpha_{пз}$, $\alpha_{пн}$, $\alpha_{пк}$ – углы захвата, начала и окончания схода; F_n , P_n , N_n – силы взаимодействия

Также найдено значение мощности для сообщения одному барабану энергии, необходимой для вылета частицы материала:

$$N_B = \frac{m_n V_{0n}^2 \omega_n z_n 10^{-3}}{2(\alpha_n - \alpha_{пн})}, \quad (1.40)$$

где, z_n – число лопастей n-го барабана; m_n – масса частицы, кг; $\alpha_{пн}$, α_n – углы начала и окончания схода материала с лопастей n-го барабана, рад; ω_n – угловая скорость вращения n-го барабана.

Доктор технических наук, профессор Демин Евгений Евгеньевич и кандидат технических наук Докторов Андрей Викторович исследовали процесс взаимодействия ковша погрузчика типа ПКУ с органическими удобрениями [66,70].

На рисунке 1.47 показаны действующие на ковш силы, препятствующие его внедрению в штабель груза.

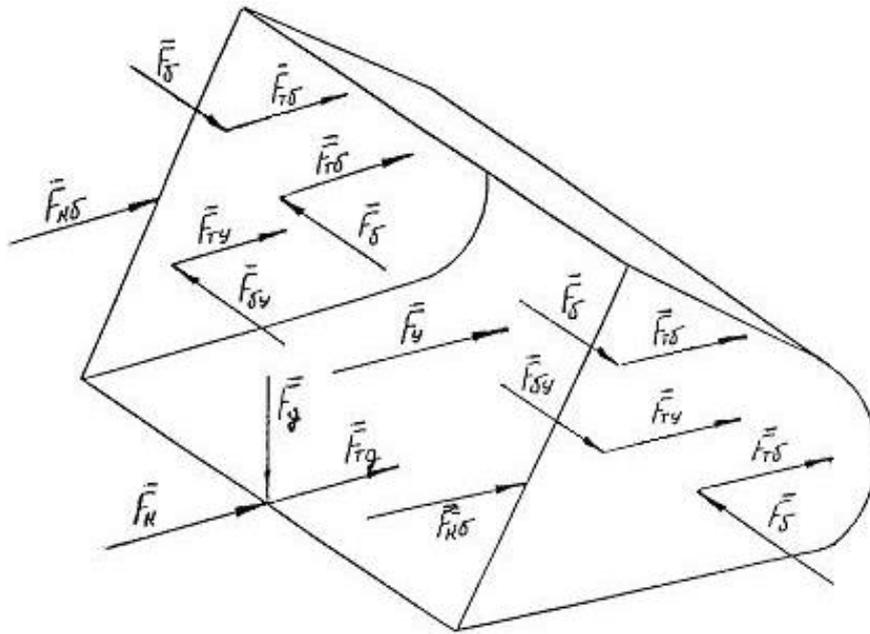


Рисунок 1.47 – Силы, действующие на ковш при его внедрении в штабель Н: « F_k – сила сопротивления на передней кромке днища; $F_{тд}$ – сила сопротивления, возникающая при движении материала по днищу; $F_{кб}$ – сила сопротивления на кромке боковой стенки; F_g – сила тяжести материала; $F_б$ – сила обжатия, действующая на поверхность боковой стенки; $F_{тб}$ – сила трения материала о поверхность боковой стенки; F_y – сила сопротивления, возникающая при уплотнении материала; F_{by} – сила бокового давления на внутреннюю поверхность боковой стенки, возникающая при уплотнении материала; F_{ty} – сила трения на внутренней поверхности боковой стенки, возникающая при уплотнении материала» [66]

Для преодоления сопротивления всех сил, действующих на ковш при его внедрении в штабель органических удобрений, величина напорного усилия – сила F , будет являться суммой сил сопротивления внедрению ковша:

$$F = F_k + F_{тд} + 2F_{кб} + 4F_{тб} + 2F_{ty} + F_y \quad (1.41)$$

Раскрывая значения каждого слагаемого из выражения (1.37) и проведя соответствующие преобразования, авторы получили полную сумму сил сопротивления:

$$\begin{aligned}
F = & \delta_{\kappa} \sigma_{\text{пез}} \left(B_{\kappa} \cos \gamma + \frac{2h \cos(\alpha + \gamma)}{\sin \alpha} \right) + 0,5g\rho L_B^2 B_{\kappa} \operatorname{tg}\varphi (0,5 \sin 2\gamma + f_{\text{д}} \cos^2 \gamma) + \\
& + 2CL_B^{\mu} \cdot 10^3 \left[B_{\kappa} \delta_{\text{пк}} (0,5 + 0,25f_{\text{д}} \sin 2(\beta + \gamma)) + K_1 f_{\text{д}} \left[\frac{L_B^2 \operatorname{tg}\varphi \operatorname{tg}\alpha}{\operatorname{tg}\varphi + \operatorname{tg}\alpha} - 0,5(L_B - \ell)^2 \sin 2\varphi \right] \right] + \\
& + h\delta_{\text{пк}} \left(1 + f_{\text{д}} \sin(\alpha + \gamma) \cdot \frac{\sin \theta + K_1 \cos \theta}{\operatorname{tg}\theta \sin \alpha} \right) + K_2 \cdot \left(\frac{(L_B - \ell - R \sin \varphi)}{L_B} \right) \cdot (\operatorname{tg}\varphi \cdot B_{\kappa} (L_B - \\
& - \ell + 0,5 \sin 2\varphi [2R - (L_B - \ell) \operatorname{tg}\varphi] - \\
& - \sqrt{0,25 \sin 2\varphi [R - (L_B - \ell) \operatorname{tg}\varphi]^2 + 0,5(L_B - \ell) [2R - (L_B - \ell) \operatorname{tg}\varphi] \sin 2\varphi}) + \\
& + K_1 \cdot f_{\text{д}} \cdot \left[\frac{L_B^2 \operatorname{tg}\varphi \operatorname{tg}\alpha}{\operatorname{tg}\varphi + \operatorname{tg}\alpha} - 0,5(L_B - \ell)^2 \sin 2\varphi \right]
\end{aligned} \tag{1.42}$$

где φ – угол наклона стенки ковша; σ_y – нормальное напряжение (уплотнение), Па; K_2 – коэффициент, определяющий связь нормального напряжения уплотнения с относительной деформацией слоя, Па; ε – коэффициент определяющий относительную деформацию; τ – напряжение бокового сжатия, Па; K_1 – коэффициент, определяющий связь между боковым напряжением и напряжением сжатия; $\delta_{\text{бк}}$ и h – толщина и высота боковой кромки соответственно.

Авторы пришли к заключению, «что сумма всех сил сопротивления препятствующих внедрению ковша в штабель находится в прямо пропорциональной зависимости от геометрических параметров ковша и физико-механических свойств загружаемого груза и в степенной зависимости от величины внедрения» [66].

Анализ существующих исследований технических средств, применяемых в тепличном производстве для работы с грунтом, позволяет сделать вывод, что исследований для обоснований рабочих органов технологических машин не достаточно. Большинство исследований проведены в других отраслях сельскохозяйственного производства и не учитывают особенности приготовления и использования тепличного грунта. Вследствие этого применяемые в настоящее время технические средства имеют параметры, не соответствующие эффективным значениям, что ведет к снижению производительности, ухудшению качества готового грунта, необходимости применения ручного труда, следствием чего является увеличение общих затрат обеспечение технологического процесса и удорожание готовой продукции.

Таким образом, возникает проблемная ситуация (противоречие): с одной стороны есть потребность и необходимость увеличения производства продукции в тепличном растениеводстве для круглогодичного обеспечения населения овощной и другой продукцией; с другой стороны отсутствие адаптированных, ресурсосберегающих технических средств, для механизации производственных процессов приготовления и использования тепличного грунта, приводит к увеличению материальных и трудовых затрат, что не позволяет производить продукцию в необходимых объемах требуемого качества.

В связи с создавшейся ситуацией возникает актуальная **научная проблема** отсутствия системного подхода и научного обоснования процессов и параметров рабочих органов технологических машин для приготовления и использования тепличного грунта.

1.6 Цель и задачи исследований

Цель исследований: повышение производительности и снижение энергетических затрат на приготовление и использование тепличного грунта путем разработки новой ресурсосберегающей технологии, технических средств и обоснования параметров их рабочих органов.

Задачи исследований:

- провести анализ существующих технологических схем приготовления и использования тепличного грунта и технических средств, применяемых для его приготовления и определить причины их недостаточной эффективности;
- разработать ресурсосберегающую технологию, основанную на применении новых технических средств для приготовления, укладки и удаления грунта; и модель для оценки ее эффективности;
- обосновать конструктивно-технологические схемы новых технических средств, существенно повышающих эффективность процессов приготовления и использования тепличного грунта;
- исследовать процессы взаимодействия рабочих органов технических средств с компонентами тепличного грунта и установить закономерности влияния

физико-механических свойств, конструктивных параметров и скоростных режимов на производительность, мощность, энергоемкость и качественные характеристики тепличного грунта; получить аналитические выражения по определению производительности, мощности и энергоемкости рабочих органов;

– получить экспериментальные зависимости и описывающие их вероятностно-статистические модели производительности, энергоемкости и технологических показателей тепличного грунта от конструктивных и режимных параметров для компонентов с различными физико-механическими свойствами;

– дать технико-экономическую оценку эффективности использования технических средств с обоснованными параметрами рабочих органов и предлагаемой технологии в условиях тепличного производства.

ГЛАВА 2

ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ПРИГОТОВЛЕНИЯ И ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТЕПЛИЧНОГО ГРУНТА

Проведенный анализ технологических процессов тепличного земледелия с использованием тепличного грунта показал необходимость системного подхода в их исследовании. Все операции приготовления, укладки, использования и последующей замены необходимо рассматривать в единой технологической цепи. Критерии оптимизации и исследуемые факторы должны быть направлены с одной стороны на получение качественного тепличного грунта, с другой стороны процессы должны выполняться с заданной производительностью и минимальной энергоемкостью. Таким образом, требуется разработка новой ресурсосберегающей технологии использования тепличного грунта.

Анализа существующих технологических схем приготовления и использования тепличного грунта, их положительных сторон и недостатков, позволил разработать новую ресурсосберегающую технологию, основанную на одновременном выполнении нескольких операций и минимизации количества используемых технических средств.

Особенность тепличного грунта заключается в том, что исходные компоненты: торф, навоз, чернозем, опилки, песок и другие, представляет собой смесь по своим физико-механическим свойствам значительно отличающуюся от исходных материалов. От качественных свойств тепличного грунта определяющим образом зависит будущая урожайность выращиваемых культур. Кроме того, компоненты в тепличном грунте должны быть качественно перемешаны и равномерно распределены по поверхности теплицы. Существующие технологии и методы приготовления, изложенные в первой главе, не обеспечивают необходимое качество тепличного грунта, включают большое количество операций и поэтому являются трудоемкими и энергоемкими.

Таким образом, рабочая **научная гипотеза** формулируется следующим образом: «повышение эффективности приготовления и использования тепличного

грунта за счет разработки новой ресурсосберегающей технологии и технических средств, обеспечивающих совмещение и одновременное выполнение операций и имеющих обоснованные рациональные параметры, соответствующие условиям применения».

2.1 Предлагаемая технологическая схема приготовления и использования тепличного грунта

Предлагаемая технологическая схема приготовления, использования и последующего удаления тепличного грунта включает следующие операции (рисунок 2.1, а). Операции 1,2 – на площадке подготовки производится загрузка компонентов будущего тепличного грунта в комбинированный укладчик. Благодаря наличию нескольких изолированных друг от друга бункеров в него загружаются несколько разнородных материалов. В передний бункер загружается основной компонент тепличного грунта – земля, чернозем, перепревший навоз длительного хранения и др. В другие бункера, меньшие по объему, загружаются компоненты с меньшим требуемым объемом укладки – органические и минеральные удобрения, навоз, торф, компосты, лузга, опилки. Операция 3 – предлагаемый комбинированный укладчик выполняет укладку компонентов тепличного грунта на поверхность площадки. Укладка производится одновременно из всех бункеров. Все компоненты укладываются послойно за один проход. В существующих технологиях каждый компонент укладывается последовательно. Операция 4 – смешивание компонентов и погрузка полученного тепличного грунта в транспортное средство. Совмещение процессов смешивания и погрузки достигается за счет использования погрузчика-смесителя, оснащенного специальным шнекофрезерным рабочим органом. В существующих технологиях приготовления тепличного грунта вначале выполнялось смешивание, для которого применялись смесители, рассмотренные в первой главе. После смешивания материал располагался на площадке, с поверхности которой производилась погрузка погрузчиками непрерывного и периодического действия.

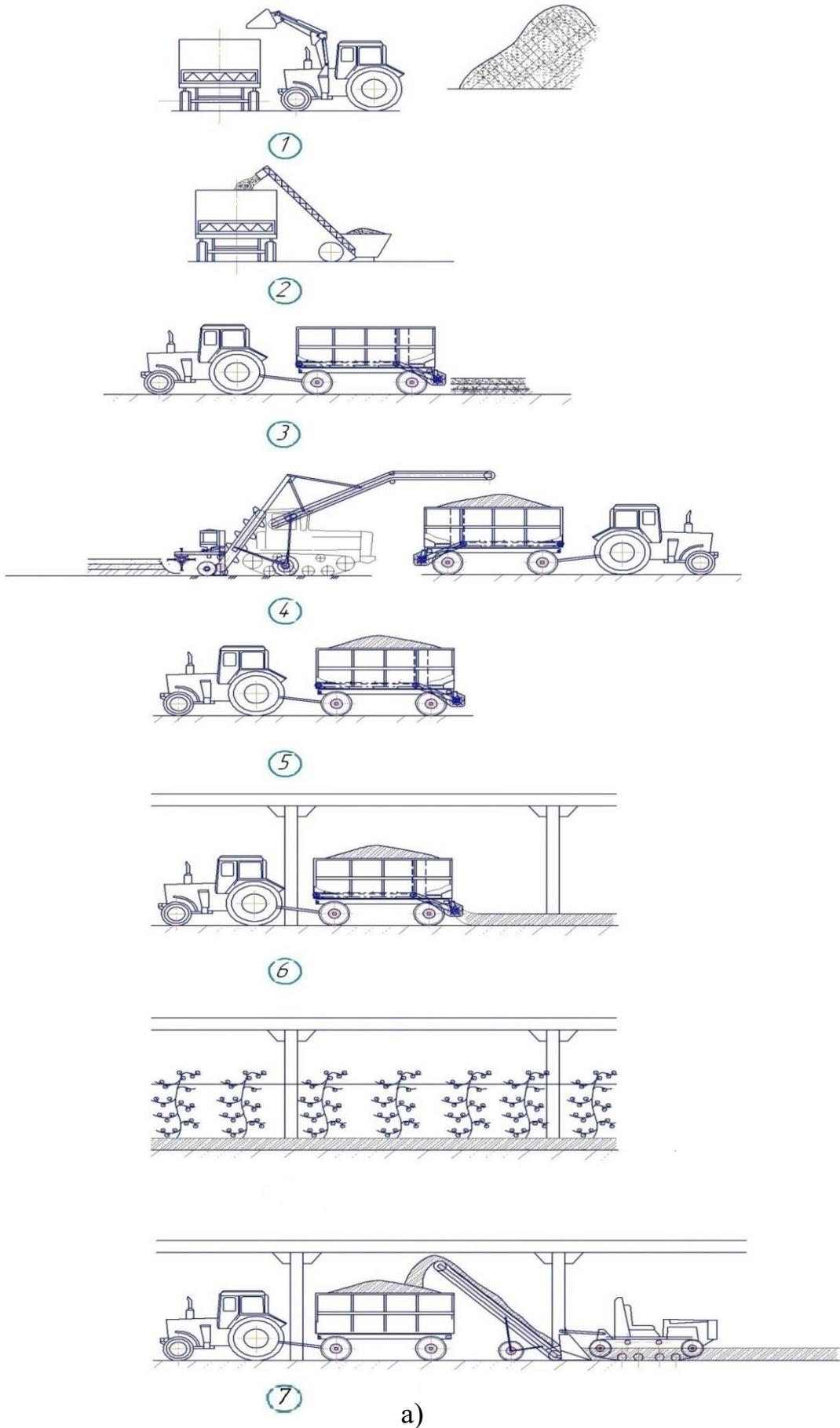


Рисунок 2.1 – а) предлагаемая технологическая схема процесса приготовления и использования грунта в теплице

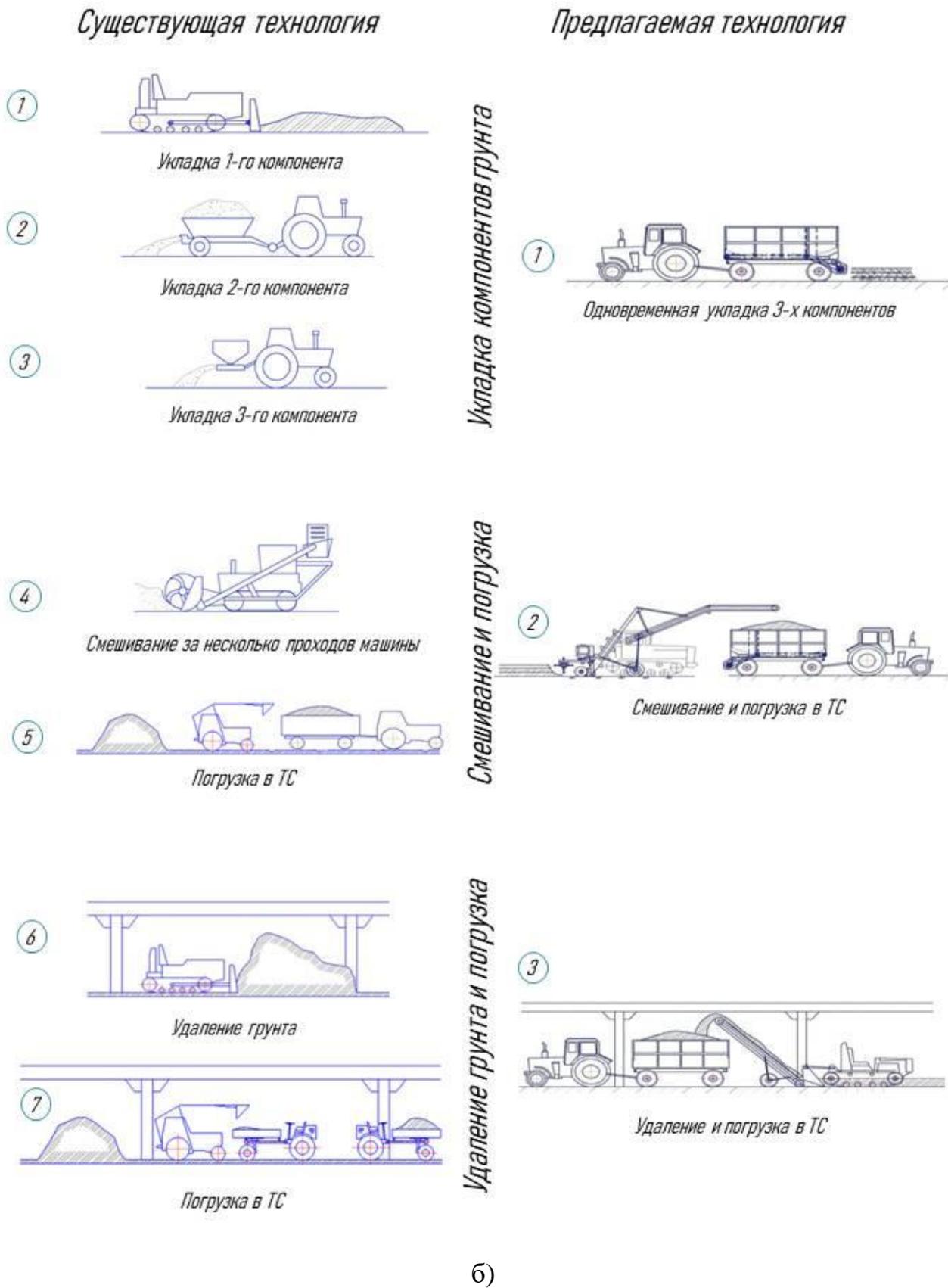


Рисунок 2.1 – б) сравнение технологических операций существующей и предлагаемой технологии приготовления и использования тепличного грунта

Операция 5 – транспортирование подготовленного тепличного грунта в помещение, операция 6 – укладка тепличного грунта на поверхности пола теплицы. Для укладки в теплице готового грунта в предлагаемой технологической схеме используется комбинированный укладчик. Далее следует цикл выращивания культур. После удаления растительной массы необходимо заменить грунт полностью или только его часть (санитарный слой) – операция 7.

Преимущества предлагаемой технологии заключаются в совмещении операций: одновременная укладка нескольких компонентов, смешивание компонентов и погрузка готового грунта, удаление санитарного слоя и одновременная его погрузка в транспортное средство (рисунок 2.1, б). Благодаря совмещению операций повышается производительность, снижается энергоемкость и материалоемкость, а следовательно снижаются общие затраты на приготовление тепличного грунта. Данная технологическая схема основана на использовании новых конструктивно-технологических схем с разработанными рабочими органами.

2.2 Общая модель эффективности технологического процесса

Показателем эффективности технологии тепличного земледелия является суммарная энергоемкость производственных процессов, производительность технологических процессов и удельная трудоемкость, материалоемкость и качественные показатели получаемого технологического результата.

Таким образом, модель повышения эффективности $ЭТ$ технологического процесса подготовки и использования тепличного грунта имеет вид:

$$ЭТ = (1/\Delta E_{\downarrow}) \times \Delta Q^{\uparrow} \times (1/\Delta M_{\downarrow}) \times \Delta K^{\uparrow} , \quad (2.1)$$

где ΔE_{\downarrow} – показатель суммарного снижения энергоемкости технологических процессов; ΔQ^{\uparrow} – показатель повышения производительности и снижения удельной трудоемкости; ΔM_{\downarrow} – показатель снижения материалоемкости технологических процессов; ΔK^{\uparrow} – показатель повышения качества получаемого тепличного грунта.

$$\varepsilon T = \frac{1}{\sum_{n=1}^N (\Delta E_{\downarrow})} \times \Delta Q^{\uparrow} \times \frac{1}{\sum_{n=1}^N (\Delta M_{\downarrow})} \times \Delta K^{\uparrow} \quad (2.2)$$

Следовательно, каждую технологию приготовления и использования тепличного грунта можно оценить суммарной эффективностью применяемых технических средств и характеристикой получаемого результата.

Каждый показатель имеет различное влияние на эффективность технологической схемы в целом. Для учета влияния используем коэффициенты значимости каждого показателя:

$$\varepsilon T = \frac{K_E}{\sum_{n=1}^N (\Delta E_{\downarrow})} \times K_Q \Delta Q^{\uparrow} \times \frac{K_M}{\sum_{n=1}^N (\Delta M_{\downarrow})} \times K_K \Delta K^{\uparrow}, \quad (2.3)$$

где K_E , K_Q , K_M , K_K – коэффициенты значимости соответственно энергоемкости, производительности, материалоемкости, качества готового грунта.

Анализ модели (2.3) показывает, что повышение эффективности достигается снижением суммарной энергоемкости и суммарной материалоемкости применяемых технологических средств. Основной вывод – необходимо уменьшать количество используемых технических средств путем совмещения операций. Следующим положением является повышение производительности и повышение качества готового материала, при использовании технологических машин в данных процессах.

Решением данной модели будет интегрирование всего комплекса параметров по длине и времени выполнения операций технологического процесса приготовления и использования тепличного грунта:

$$\varepsilon T = \iint \left(\frac{K_E}{\sum_{n=1}^N (\Delta E_{\downarrow})} \times K_Q \Delta Q^{\uparrow} \times \frac{K_M}{\sum_{n=1}^N (\Delta M_{\downarrow})} \times K_K \Delta K^{\uparrow} \right) dl dt \quad (2.4)$$

Модели (2.3) и (2.4) отражают системный подход к комплексному решению проблемы ресурсосбережения в технологическом процессе приготовления и использования тепличного грунта. Дальнейшее изучение и исследование требует детализации входящих в систему показателей.

2.3 Сравнительная эффективность предлагаемой и существующей технологии

Модель (2.4) эффективности предлагаемой технологии по отношению к существующей технологии будет иметь вид:

$$\begin{aligned} \mathcal{E}T_c = & \frac{K_E}{E_1^n + E_2^n + E_3^n} \times K_Q \left(\frac{Q_1^n}{Q_1^c} + \frac{Q_2^n}{Q_2^c + Q_3^c} + \frac{Q_3^n}{Q_4^c + Q_5^c} \right) \times \\ & \frac{K_M}{M_1^n + M_2^n + M_3^n} \times K_K \left(\frac{K_{cm}^n}{K_{cm}^c} + \frac{K_{\epsilon 1}^n}{K_{\epsilon 1}^c} + \frac{K_{\epsilon 2}^n}{K_{\epsilon 2}^c} \right) \end{aligned} \quad (2.5)$$

В данной модели E_1^n, E_2^n, E_3^n – энергоёмкость соответствующих процессов предлагаемой технологии; $E_{11}^c, E_{12}^c, E_{13}^c, E_2^c, E_3^c, E_4^c, E_5^c$ – энергоёмкость соответствующих процессов существующей технологии. Производительность процессов: предлагаемой технологии Q_1^n, Q_2^n, Q_3^n ; существующей технологии: $Q_1^c, Q_2^c, Q_3^c, Q_4^c, Q_5^c$. Материалоёмкость процессов: предлагаемой технологии M_1^n, M_2^n, M_3^n ; существующей технологии: $M_1^c, M_2^c, M_3^c, M_4^c, M_5^c$. Показатели качества: K_{cm}^n, K_{cm}^c – показатели качества смешивания предлагаемой и существующей технологии; $K_{\epsilon 1}^n, K_{\epsilon 1}^c$ – показатели влагоемкости тепличного грунта подготовленного по предлагаемой и существующей технологии; $K_{\epsilon 2}^n, K_{\epsilon 2}^c$ – показатели воздухоёмкости тепличного грунта, подготовленного по предлагаемой и существующей технологии. Влияние каждой группы показателей оценивается коэффициентами значимости, определяемыми экспериментально-аналитическим путем.

Механико-математическое исследование в соответствии с моделью (2.5) позволит определить интегральную эффективность предлагаемой технологии по сравнению с существующей. Исследование проводится последовательным изучением влияния параметров технологических машин на критерии эффективности процесса приготовления и использования тепличного грунта. Для исследования

необходимо изучить все факторы и их взаимодействие с тепличным грунтом в процессе выполнения рабочего процесса.

2.4. Конструктивно-технологические схемы машин для выполнения технологических операций

Отсутствие серийно выпускаемых технических средств для работы с тепличным грунтом обусловили необходимость разработки и исследования новых рабочих органов, адаптированных к условиям работы.

2.4.1 Предлагаемая конструктивно-технологическая схема комбинированного укладчика

Разработанный комбинированный укладчик тепличного грунта (патент РФ № 211840, приложение А) представлен на рисунке 2.2 и включает три бункера – бункер в передней части кузова 1, средний бункер 2 и задний бункер 3.

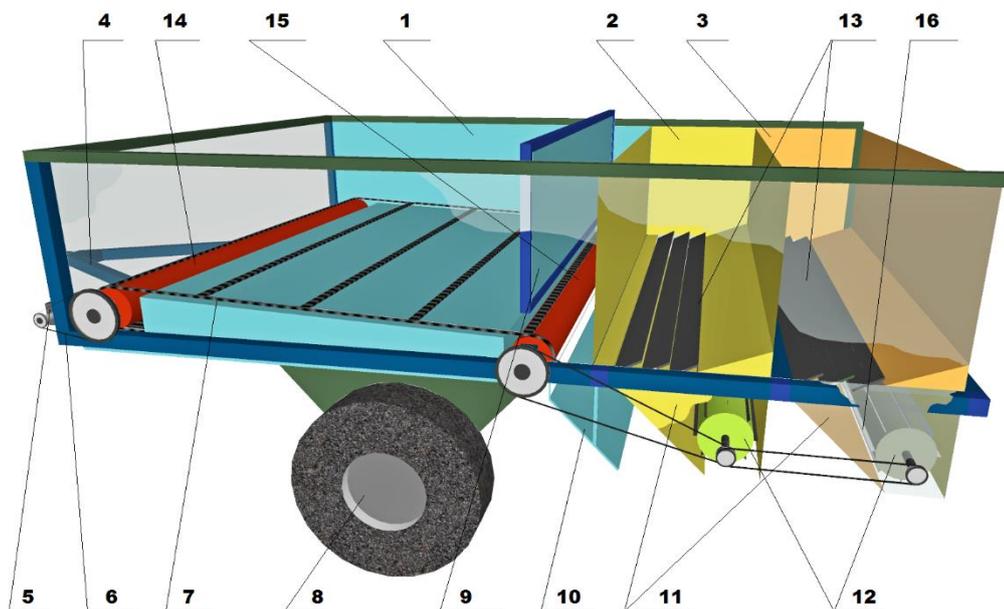


Рисунок 2.2 – Общий вид комбинированного укладчика

Бункер 1 имеет большой объем и предназначен для основного компонента тепличного грунта. Бункеры 2 и 3 имеют меньший объем и используются для удобрительных и дополнительных материалов. Бункера установлены на раме с колесами 8. Бункер 1 имеет расположенный у дна цепной транспортер 7 и до-

полнительно снабжен регулировочной шибберной заслонкой 9 и направляющей пластиной 10. Бункера 2 и 3 имеют выгрузные устройства 11. Внутри выгрузных устройств установлены отсекатели 13 и дозирующие барабаны 12 с продольными планками 16.

Агрегатирование комбинированного укладчика производится с помощью сцепки 4. Привод рабочих органов осуществляется от гидромотора 5, вращение от которого передается на цепную передачу 6. Ведомая звездочка цепной передачи 6 расположена на ведущем валу 14 цепного транспортера 7 и приводит его в движение. Вращение к дозирующим барабанам передается передачей гибкой связью с ведомого вала 15 цепного транспортера 7. Отсекатели 13 в среднем и заднем бункерах позволяют регулировать подачу компонентов на дозирующие 12 барабаны, за счет поворота пластин и изменения зазоров между ними.

Подробно конструкция рассмотрена на рисунке 2.3. Дозирующие барабаны 2 благодаря продольным планкам 4 производят равномерную укладку компонентов тепличного грунта.

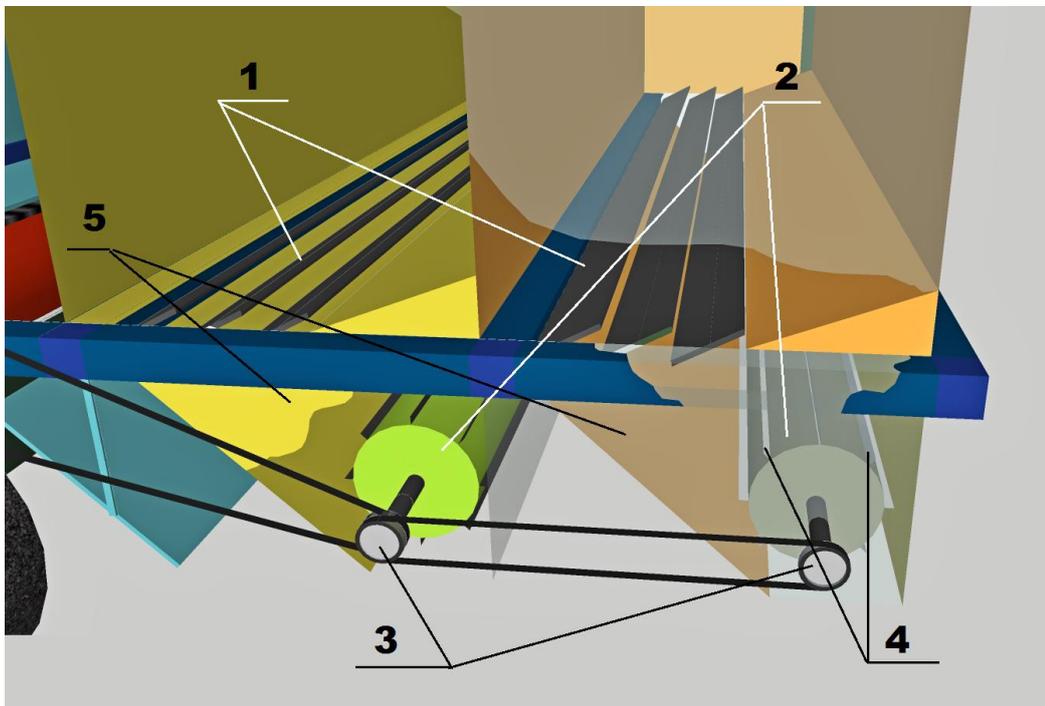


Рисунок 2.3 – Дозирующие барабаны: 1 – отсекатели, 2 – дозирующие барабаны, 3 – передачи гибкой связью, 4 – продольные планки, 5 – выгрузные устройства

Укладчик соединяется с двигателем через сцепку 4. При включении гидромотора 5 его ротор через цепную передачу 6 приводит в движение шестерню ведущего вала 14 цепного транспортера 7 в переднем бункере.

Далее вращение передается с ведомого вала 15 транспортера на дозирующие барабаны 12, установленные в выгрузных устройствах 11 среднего 2 и заднего 3 бункеров (рисунок 2.3). Цепной транспортер 7 начинает подачу компонента через регулирующую ограничивающую заслонку 9, ограничивающую поступление компонента, далее материал движется по направляющей пластине 10. Направляющая пластина 10 позволяет достичь большей равномерности, меньшего уплотнения слоя и повышения качества укладки. Подача компонентов в среднем 2 и заднем 3 бункерах осуществляется через регулируемые отсекатели 13, тем самым регулируется интенсивность выгрузки компонентов. Далее компоненты проходят через дозирующие барабаны 12, расположенные в выгрузных устройствах 11 на соосно установленных подшипниках.

Процесс укладки компонентов тепличного грунта комбинированным укладчиком производится на специальной выровненной площадке. При поступательном движении укладчика включаются приводы цепного транспортера и дозирующих барабанов. Цепной транспортер сдвигает нижний слой основного компонента, находящегося в переднем бункере к регулировочной шиберной заслонке.

Через зазор в заслонке компонент подается на направляющую пластину и далее на поверхность площадки. Укладка удобрительных компонентов из среднего и заднего бункера происходит при вращении дозирующих барабанов. На барабаны компоненты попадают через регулируемые отсекатели, которые позволяют изменять объем компонентов. Продольные планки обеспечивают равномерную укладку компонентов.

2.4.2 Параметры рабочих органов комбинированного укладчика

Параметры, существенно влияющие на эффективность работы комбинированного укладчика, подразделяются на конструктивные и режимные. С компонен-

тами тепличного грунта взаимодействуют бункера, цепной транспортер и дозирующие барабаны, и их элементы: скребки, планки, поверхности.

В соответствии с этим основными параметрами предлагаемого укладчика тепличного грунта являются: длина, ширина, высота переднего, среднего, заднего бункера; объем каждого бункера; длина и ширина выгрузных окон бункера. Длина цепного транспортера L_m , измеренная по осям валов. Ширина захвата цепного транспортера (рисунок 2.4), измеренная по краям скребков, b_c , м; количество скребков z ; расстояние между скребками (шаг) l_c , м; высота скребков, $h_{ск}$, м; линейная скорость движения скребков цепного транспортера v_c , м/с.

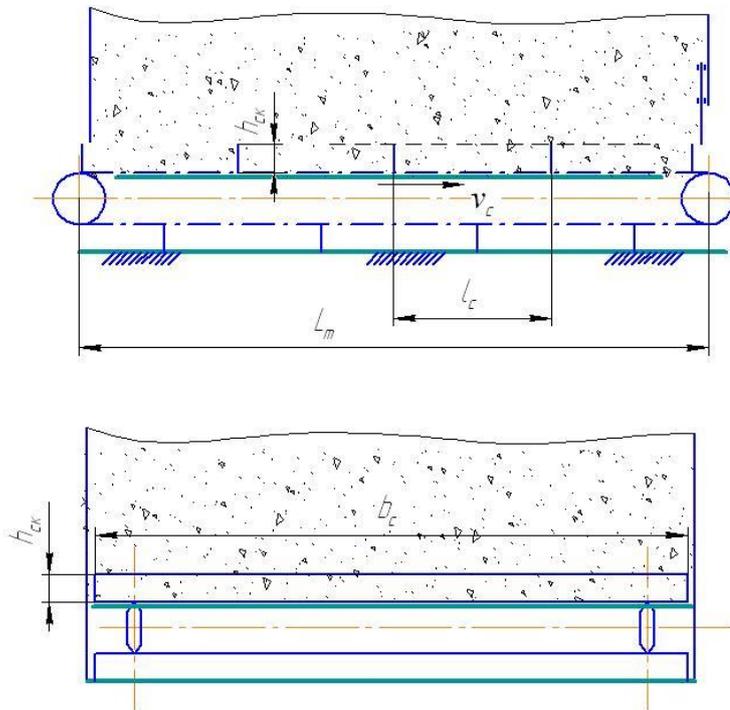


Рисунок 2.4 – Геометрические параметры цепного транспортера комбинированного укладчика тепличного грунта

Диаметр дозирующих барабанов (рисунок 2.5) по образующей цилиндра D_6 ; диаметр дозирующих барабанов по наружным кромкам продольных планок D_n ; ширина захвата барабана по ширине продольных планок B_n , м; количество планок N ; центральный угол между планками, α_n , град; угловая скорость первого дозирующего барабана, ω_{61} , рад/с; угловая скорость второго дозирующего барабана, ω_{62} , рад/с. Важнейшим параметром, определяющим режим работы комбини-

рованного укладчика является скорость его движения v , м/с во время осуществления технологического процесса.

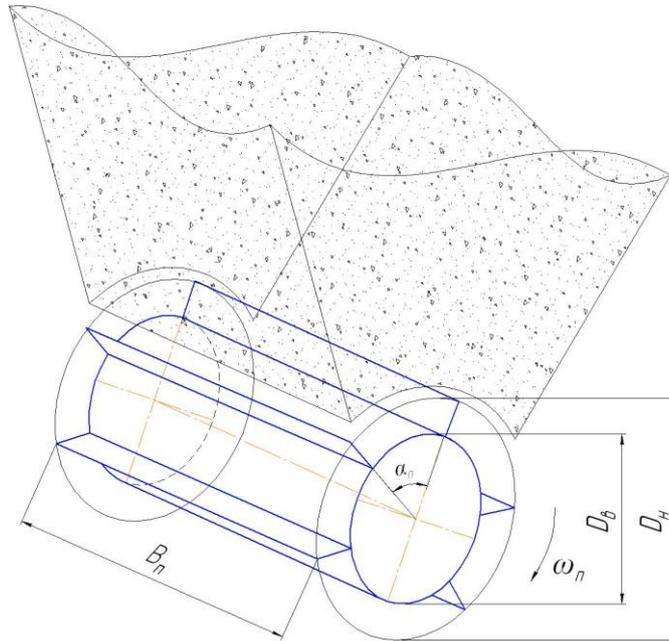


Рисунок 2.5 – Параметры дозирующих барабанов комбинированного укладчика тепличного грунта

2.4.3 Предлагаемая конструктивно-технологическая схема погрузчика-смесителя тепличного грунта

Следующей операцией после укладки компонентов тепличного грунта является процесс одновременного смешивания и погрузки. Выполнение данной операции основано на применении разработанного погрузчика-смесителя (патент на полезную модель № 119337, приложение Б). Погрузчик-смеситель тепличного грунта выполнен на единой раме 4 (рисунок 2.6) в полунавесном исполнении на малогабаритный гусеничный трактор 1. В конструкцию также входит рабочий орган 2, выполненный в виде ленточного шнека с установленными на стойках зубьями и отгрузочный ленточный транспортер 3. Для повышения производительности на ленте дополнительно установлены поперечные ребра. Погрузчик-смеситель при движении и работе опирается на гидравлическую заднюю навеску базовой машины и колесо 5. Привод рабочих органов – комбинированный, от вала отбора мощности и гидромотора.

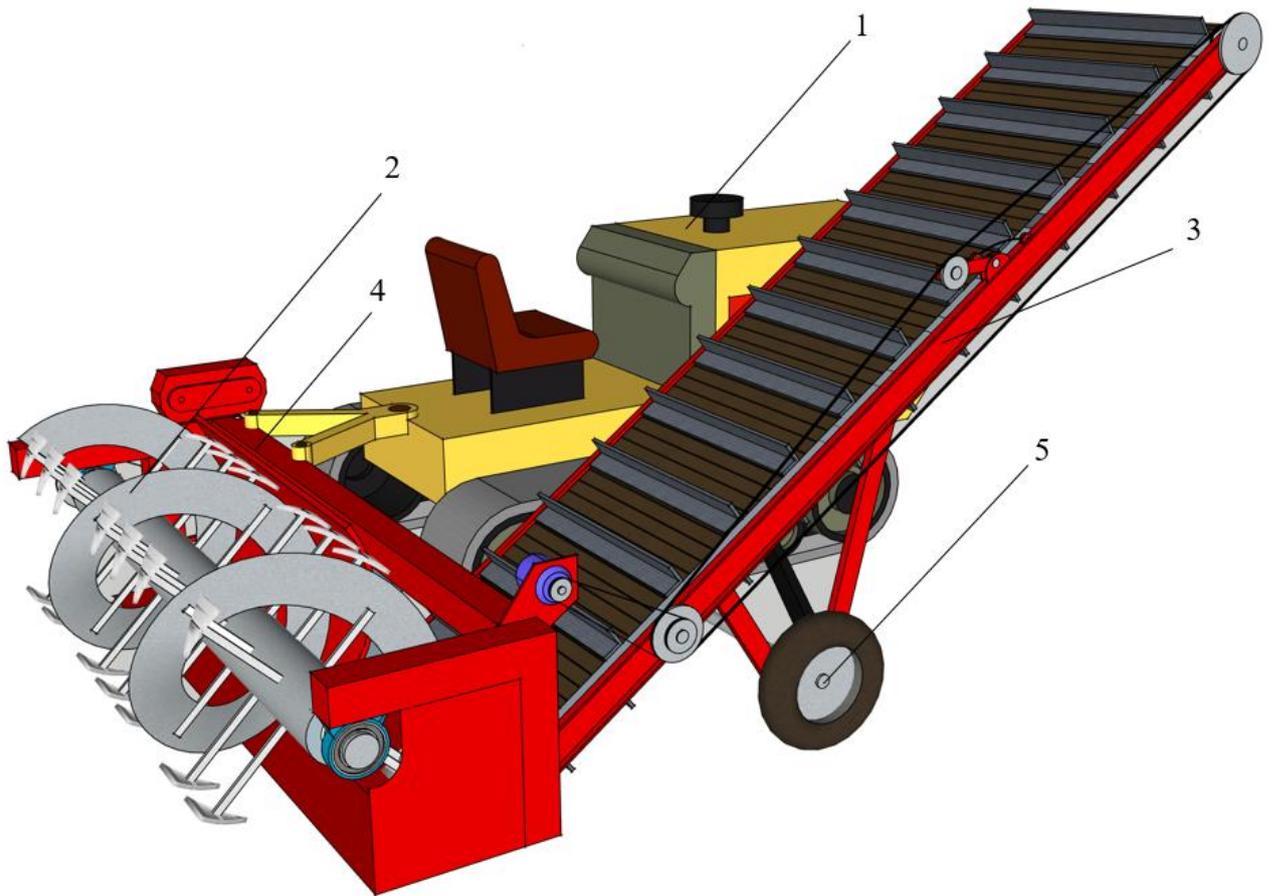


Рисунок 2.6 – Схема погрузчика-смесителя: 1 – базовый трактор; 2 – рабочий орган в виде ленточного шнека с установленными на стойках зубьями; 3 – отгрузочный ленточно-планчатый транспортер; 4 – общая рама погрузчика; 5 – опорное колесо

В предложенном погрузчике-смесителе тепличного грунта основным рабочим органом, выполняющим функции отделения и смешивания компонентов, уложенных комбинированным укладчиком, является ленточный шнек с установленными на стойках зубьями (патент на полезную модель № 117906). В конструкцию входят (рисунок 2.7) вал 2, ленточный шнек 3, стойки 5 с закрепленными зубьями, кронштейны 4 и 7 соответственно ленточного шнека и стоек с зубьями. Зубья отделяют компоненты тепличного грунта, ленточный шнек их перемещает и перемешивает.

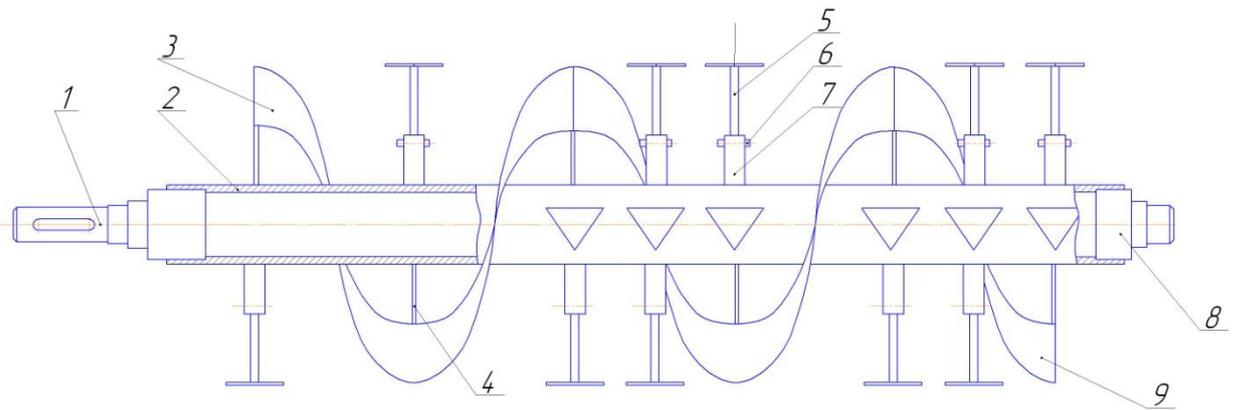


Рисунок 2.7 – Схема шнекофрезерного рабочего органа погрузчика-смесителя тепличного грунта. 1,8 – опора вала; 2 – вал; 3 – ленточный шнек; 4 – кронштейн ленточного шнека; 5 – стойка с закрепленным зубом; 6 – крепеж; 7 – кронштейн стойки зуба; 9 – секция ленточного шнека

Погрузчик-смеситель выполняет технологический процесс при движении базовой машины задним ходом. Перед началом движения после проверки всех механизмов включаются приводы отгрузочного транспортера и ленточного шнека. При движении трактора задним ходом и одновременном вращении рабочего органа зубья благодаря своей форме отделяют, измельчают компоненты и сдвигают их к поверхности шнека. Ленточный шнек производит перемещение компонентов тепличного грунта к отгрузочному транспортеру и многократное их перемешивание. Отгрузочный транспортер подает готовый тепличный грунт в транспортное средство.

Преимущества предлагаемого погрузчика-смесителя по сравнению с используемыми в настоящее время техническими средствами, рассмотренными в первой главе, состоят в адаптации схемы работы машин и принципов действия рабочих органов к особенностям производства тепличного грунта и конструктивных особенностям помещений защищенного грунта. Обеспечивается высокое качество смешивания при одновременном выполнении процесса смешивания и погрузки тепличного грунта, что позволяет одновременно повысить производительность и снизить затраты.

2.4.4 Параметры рабочего органа погрузчика-смесителя тепличного грунта

Работа ленточного шнека с установленными на стойках зубьями определяется угловой скоростью ω (рад/с) каждой точки и частотой вращения n (об/мин) рабочего органа. Рабочий орган движется вместе с погрузчиком-смесителем в направлении уложенных компонентов со скоростью v (м/с). Конструкция рабочего органа отражена геометрическими параметрами (рисунок 2.8): D – диаметр по наружной кромке винтовой поверхности ленточного шнека, м; D_p – диаметр по режущим зубьям, м; $D_{вн}$ – диаметр шнека по внутренней кромке винтовой поверхности ленточного шнека, м; $D_в$ – диаметр вала, м.

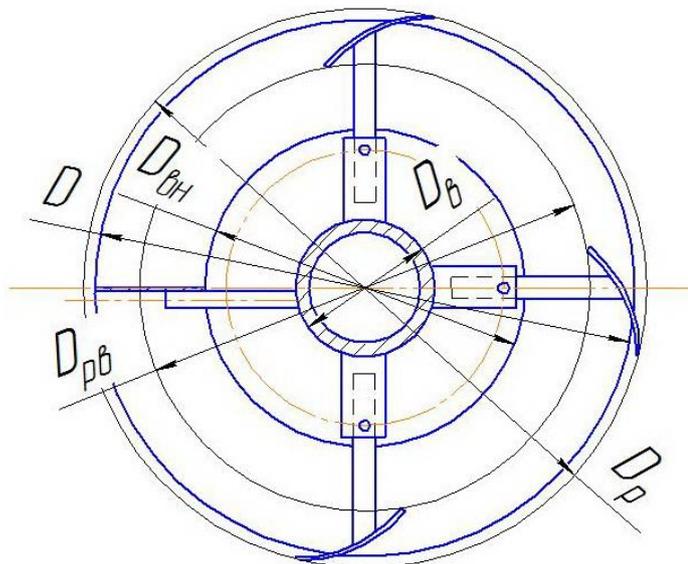


Рисунок 2.8 – Геометрические параметры шнекофрезерного рабочего органа погрузчика-смесителя по боковой проекции

К другим конструктивным параметрам относятся: B_n – ширина полная и рабочая B_p , м; K_p – шаг винтовой линии шнека, м; K_z – шаг зубьев, м (рисунок 2.9).

Геометрические параметры режущих зубьев (рисунок 2.10): B_z – ширина зуба, м; h – высота по передней и задней кромке, м; b – толщина, м; l_z – длина горизонтальной проекции, м; R – радиус огибаемой окружности (для криволинейной поверхности зубьев), м.

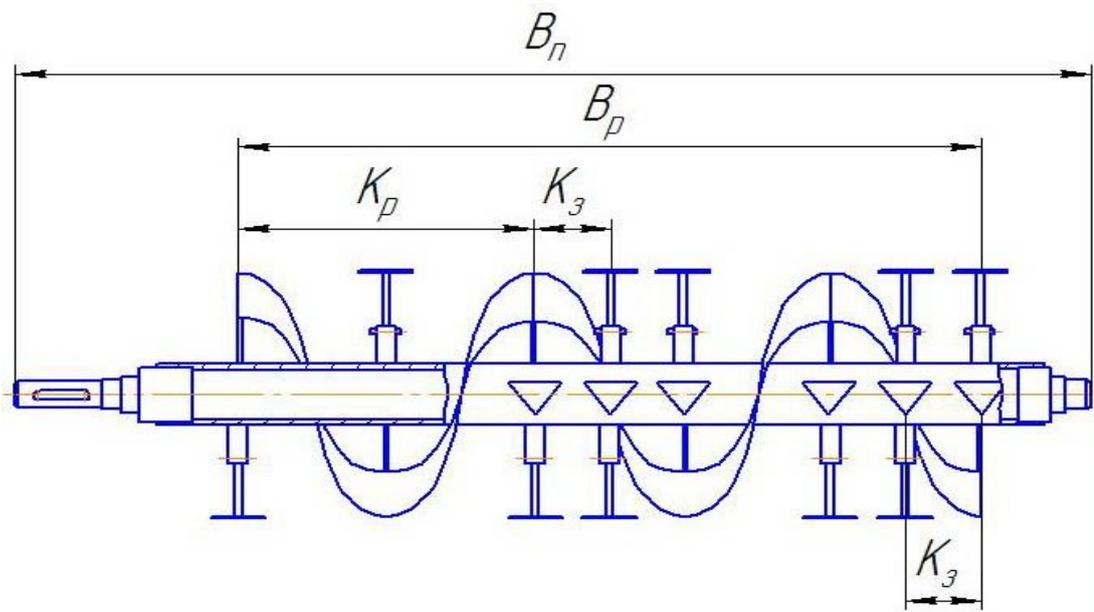


Рисунок 2.9 – Геометрические параметры шнекофрезерного рабочего органа погрузчика-смесителя по фронтальной проекции

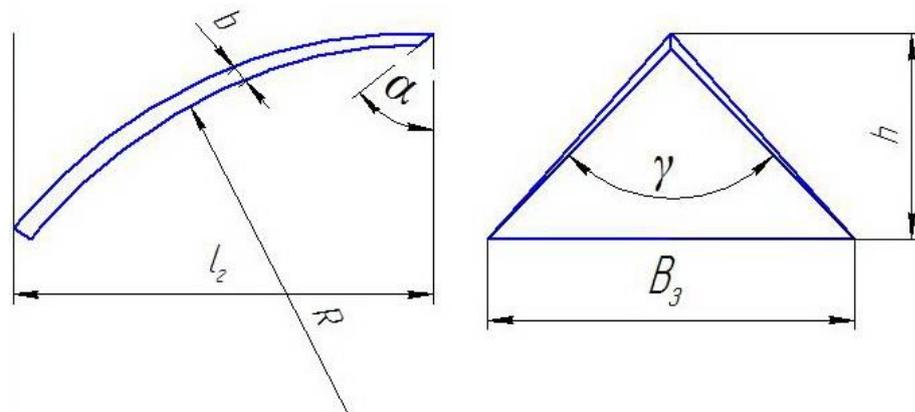


Рисунок 2.10 – Геометрические параметры зубьев шнекофрезерного рабочего органа погрузчика-смесителя

Важнейшими параметрами зубьев являются так называемый угол атаки γ , угол заострения режущей кромки α . Изучению данных углов для различных сельскохозяйственных материалов посвящен ряд исследований [66,70,187]. Наиболее близкими по условиям применения предлагаемого погрузчика-смесителя тепличного грунта являются значения данных параметров для органических удобрений. Поэтому данные исследования могут быть взяты за основу обоснования указанных параметров.

2.4.5 Предлагаемая конструктивно-технологическая схема машины для удаления и погрузки тепличного грунта

Для осуществления процесса удаления санитарного слоя по предлагаемой технологии разработана машина для удаления и погрузки тепличного грунта (патент на изобретение № 2621041, приложение В).

Машина включает (рисунок 2.11): отгрузочный транспортер 1, раму 2, отвал 8, систему агрегатирования 7 и механизм привода 4, соединительные полосы 3. Ковш 6 состоящий из отвала 8 и верхней части 5 взаимодействуют с транспортером 1 посредством соединительной полосы 3, установленной по бокам от ковша 6. Система агрегатирования 7 и механизм привода 4 установлены на верхней части 5 ковша.

Такое расположение механизмов навески и привода позволяет уменьшить габариты машины, сделать ее более компактной, что необходимо при работе в условиях теплиц. Отгрузочный транспортер жестко соединен с отвалом посредством соединительных полос и расположен своей нижней частью за режущей кромкой днища отвала. Такое расположение необходимо для попадания поступающей через поверхность отвала массы тепличного грунта на ленту транспортера с поперечными планками.

Напорное усилие передается на машину от базового трактора за счет металлоконструкции. Отвал режущей кромкой внедряется в удаляемый слой, расположенный на поверхности теплицы и отделяет его. По поверхности отвала отделенный слой грунта движется к отгрузочному транспортеру.

Транспортер при движении опирается на несущую раму и приводится в движение механизмом привода. Отделенный отвалом тепличный грунт перемещается транспортером в транспортное средство. Поскольку нижняя часть транспортера расположена за задней кромкой отвала весь отделенный грунт, попадает на транспортер.

Благодаря такому устройству машина эффективно удаляет использованный тепличный грунт в условиях ограниченного пространства теплиц.

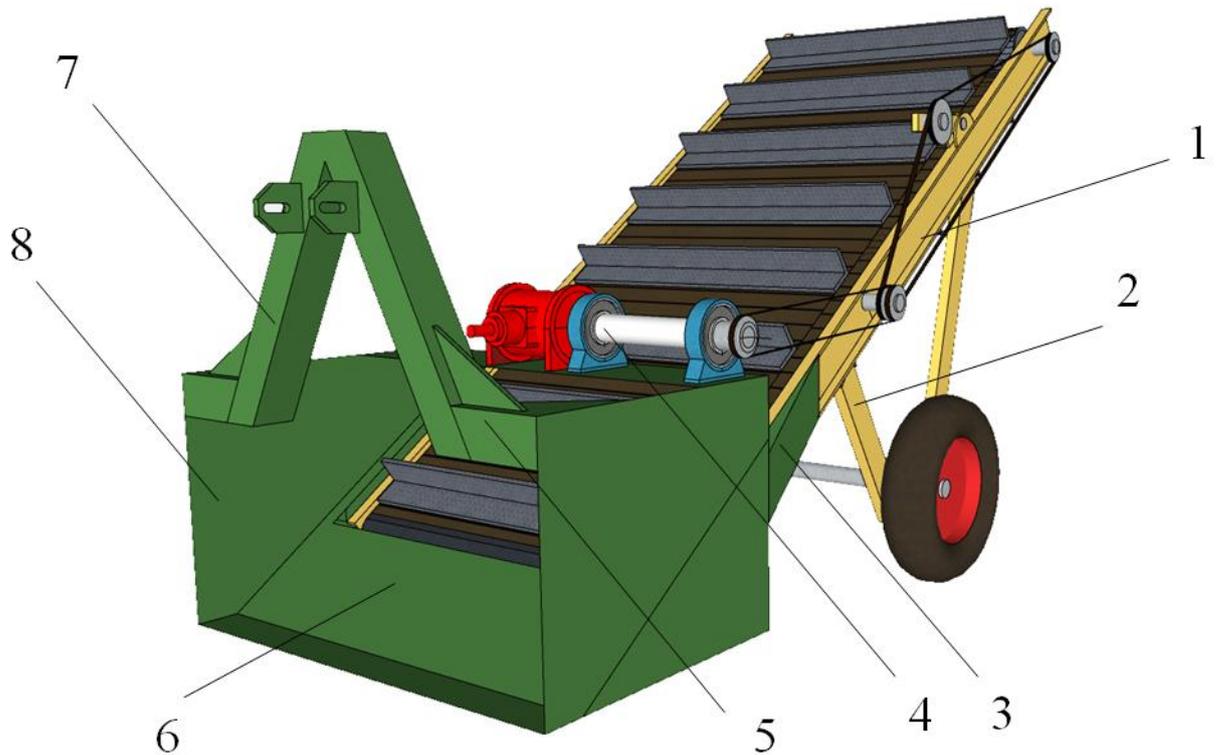


Рисунок 2.11 – Схема машины для удаления и погрузки тепличного грунта:

- 1 – отгрузочный транспортер; 2 – рама; 3 – соединительные полосы;
 4 – механизм привода; 5 – верхняя часть ковша; 6 – ковш;
 7 – система агрегатирования; 8 – отвал

2.4.6 Параметры рабочих органов машины для удаления и погрузки тепличного грунта

Основными параметрами машины для удаления и погрузки тепличного грунта являются (рисунок 2.12): ширина захвата (ширина отвала) B (м), β – угол наклона поверхности отвала, γ – средний угол поверхности отвала, толщина режущей кромки ковша δ (м), v – скорость поступательного движения машины (м/с), v_{mp} – скорость ленты отгрузочного транспортера, (м/с).

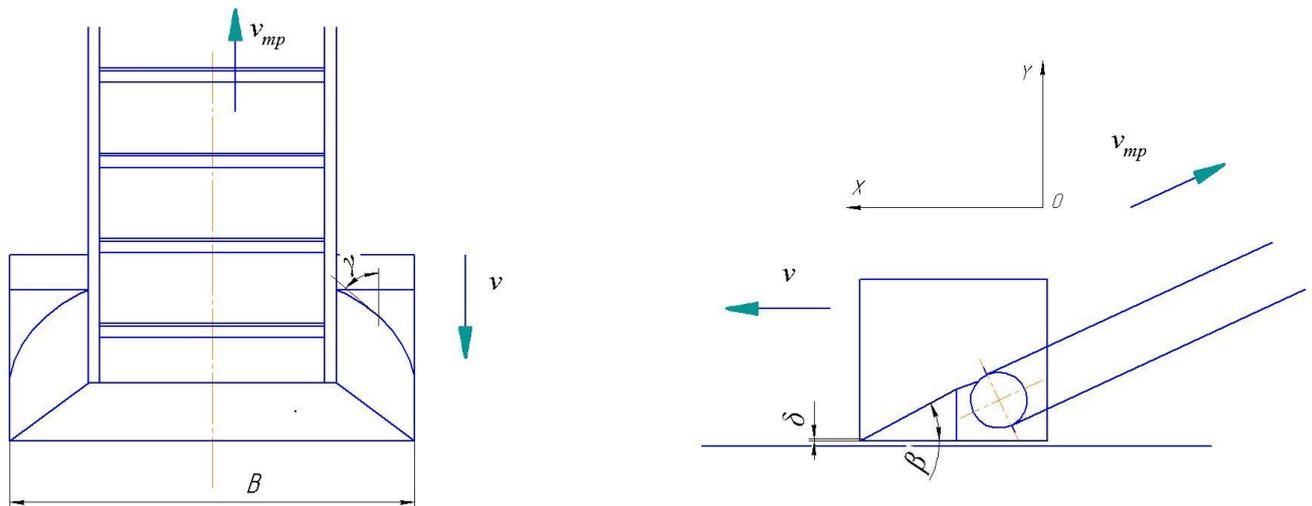


Рисунок 2.12 – Конструктивные и режимные параметры машины для удаления и погрузки тепличного грунта

2.5 Исследование процесса взаимодействия рабочих органов технологических машин с тепличным грунтом и его компонентами

Выполнение технологических операций происходит при непосредственном контакте рабочих органов машин с тепличным грунтом. Рассмотрим указанное взаимодействие при работе каждой машины. Особенностью работы машин в теплицах являются невысокие скорости движения из-за ограниченного пространства и сравнительно небольшого объема самого тепличного грунта. Поэтому силы инерции при силовом исследовании не будут иметь большой величины по сравнению с остальными силами, и соответственно, в некоторых случаях могут быть исключены из рассмотрения.

2.5.1 Взаимодействие скребков цепного транспортера комбинированного укладчика с компонентами тепличного грунта

При движении скребка в переднем бункере комбинированного укладчика происходит послойное срезание на высоту скребка нижней части компонента тепличного грунта, находящегося в данном бункере (рисунок 2.13). Срезание происходит за счет деформации сдвига, просыпанию отделенного слоя компонента вниз

препятствует настилу под рабочей ветвью транспортера. После среза отеленный слой смещается скребками к заслонке на задней стенке бункера. Далее скребок продавливает отделенный слой через заслонку (рисунок 2.15). Регулируя зазор в заслонке можно изменять количество подаваемого компонента.

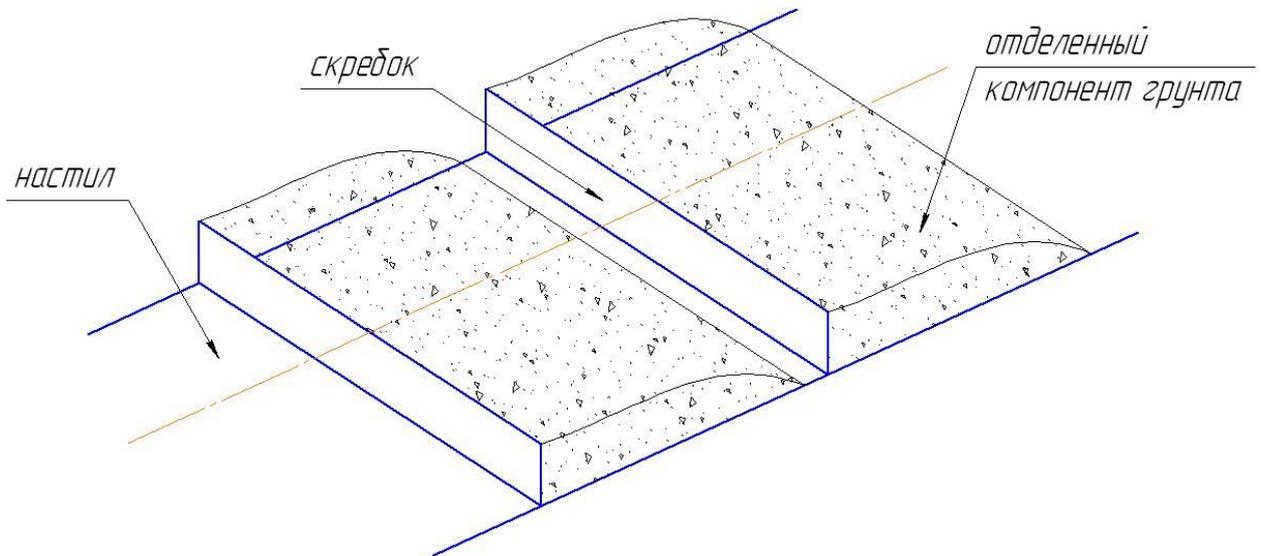


Рисунок 2.13 – Схема движения скребка в переднем бункере комбинированного укладчика

Пространство между скребками цепного транспортера заполняется компонентом тепличного грунта под действием силы тяжести. При движении скребок наружной кромкой отделяет слой компонента по линии, соединяющей вершины скребков (рисунок 2.14). Длина этой линии, умноженная на ширину скребка, образуют площадь отделения или площадь сдвига в переднем бункере.

В результате на скребок цепного транспортера будут действовать силы:

$F_{сд}$ – сила для отделения слоя компонента деформацией сдвига;

$F_{трн}$ – сила для преодоления трения скребка с отделенным слоем по поверхности компонента в переднем бункере;

$F_{трн}$ – сила, для преодоления трения скребка с отделенным слоем по поверхности настила;

$F_{ик}$ – сила инерции отделенной массы при ее разгоне до скорости скребков v_c .

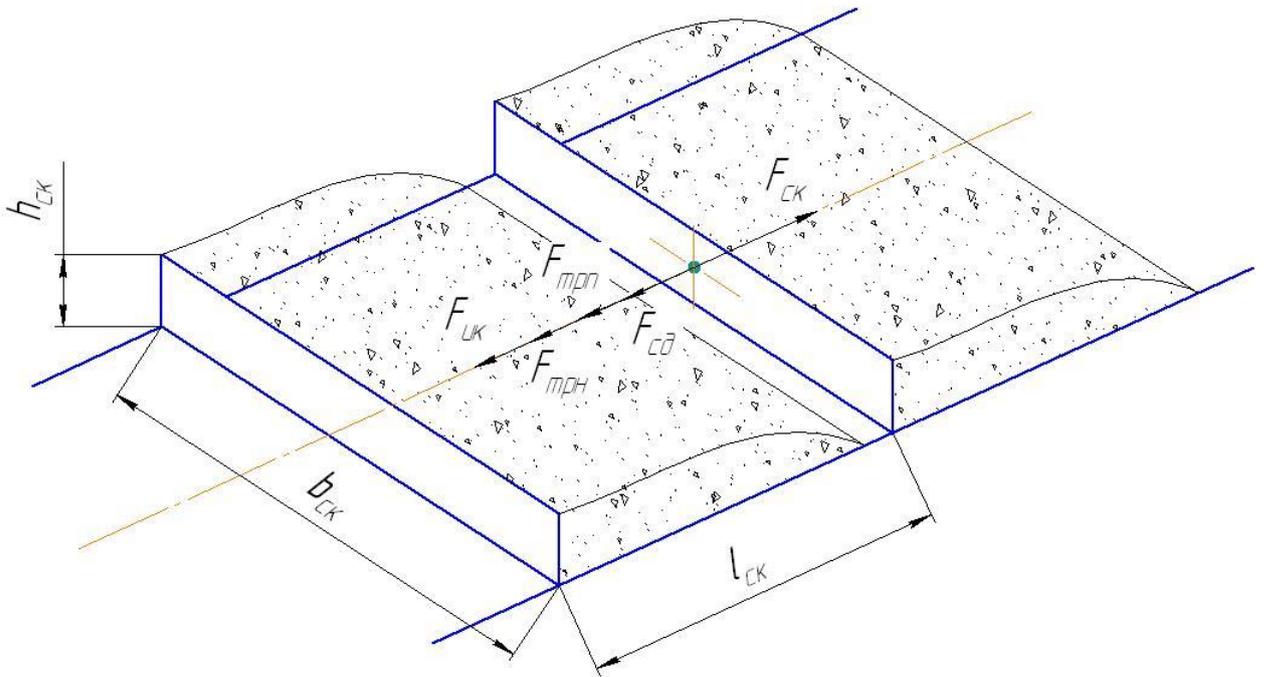


Рисунок 2.14 – Схема сил, действующих при отделении компонента скребком в переднем бункере

Усилие на скребке $F_{ск}$ будет равно сумме всех выше указанных сил:

$$\Sigma F_{ск} = F_{сд} + F_{трн} + F_{трн} + F_{ук} . \quad (2.6)$$

Каждая из сил в выражении (2.6) зависит от конструктивно-режимных параметров и физико-механических свойств материала:

$$F_{сд} = A_{сд} \tau_{сд} = K_{сд} l_{ск} b_{ск} \tau_{сд} , \quad (2.7)$$

где $A_{сд}$ – площадь одновременного сдвига, образованная скребком на длине шага скребков, m^2 ; $\tau_{сд}$ – предельное напряжение сдвига материала компонента, Па; $K_{сд}$ – коэффициент увеличения площади сдвига, учитывающий отклонение реальной формы поверхности сдвига от теоретической.

$$F_{трн} = g \rho_k l_{ск} b_{ск} h_k f_{вн} , \quad (2.8)$$

где ρ_k – плотность компонента в переднем бункере, kg/m^3 ; h_k – высота слоя компонента в переднем бункере, м; $f_{вн}$ – коэффициент внутреннего трения.

$$F_{трн} = g \rho_k l_{ск} b_{ск} h_{кп} f_n , \quad (2.9)$$

где $h_{кп}$ – полная высота слоя компонента в переднем бункере, м; f_n – коэффициент трения компонента по поверхности настила.

$$F_{ук} = ma = m \frac{v_c}{t}, \quad (2.10)$$

где m – масса отделенного компонента, кг; t – время разгона массы отделенного компонента до скорости v_c .

Таким образом, выражения для суммарной силы сопротивления движению скребка будет иметь вид:

$$F_{ск} = K_{сд} l_{ск} b_{ск} \tau_{сд} + g \rho_{к} l_{ск} b_{ск} h_{к} f_{вн} + g \rho_{к} l_{ск} b_{ск} h_{кп} f_n + m \frac{v_c}{t} \quad (2.11)$$

На усилие для движения скребка также оказывает влияние уплотнение компонента тепличного грунта перед регулировочной заслонкой (рисунок 2.15). Для преодоления данного уплотнения необходимо дополнительное усилие F_{yn} .

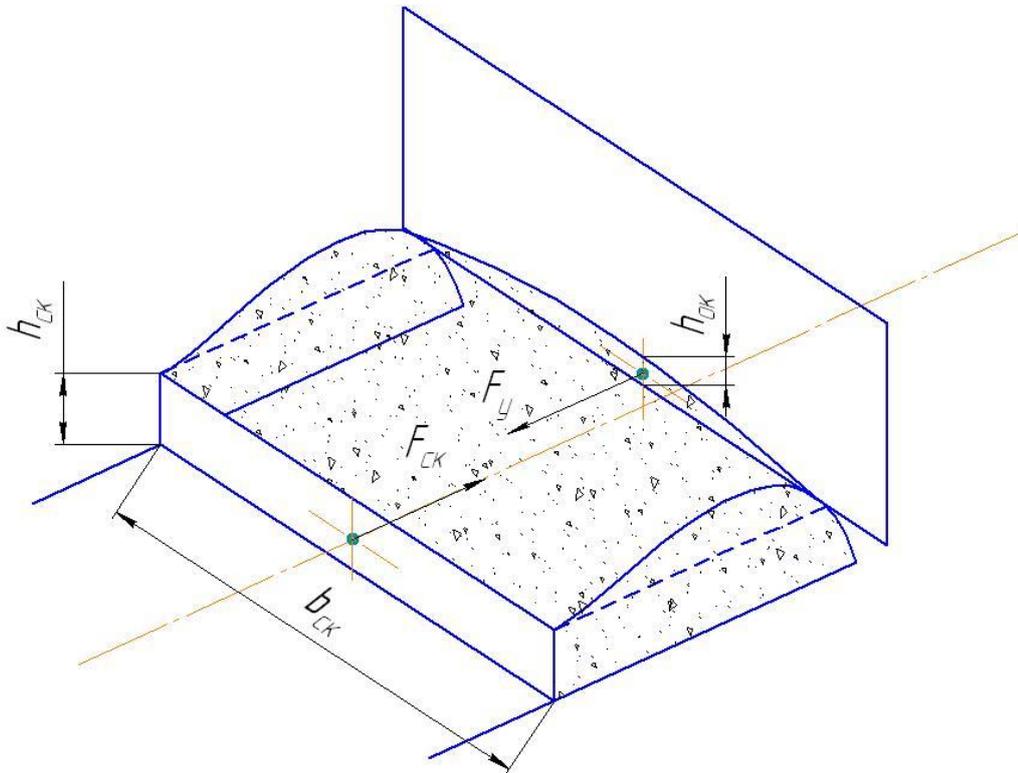


Рисунок 2.15 – Уплотнение компонента при движении перед заслонкой

$$F_y = \sigma_{к} A_{к} = \sigma_{к} b_{ск} h_{ок}, \quad (2.12)$$

где σ_k – напряжение крошения компонента, Па; $h_{ок}$ – высота отделенного слоя компонента перед заслонкой, м;

Подставляя в выражение (2.6) выражения для входящих сил, получим усилие для перемещения одного скребка. Для дальнейших исследований необходимо определить усилие, необходимое для перемещения всех скребков с цепью:

$$\begin{aligned} \Sigma F_{cy} &= \Sigma F_{ск} + F_y = (F_{cd} + F_{mpв} + F_{mpн} + F_u) \frac{l_{mp}}{l_{ск}} + F_y = \\ &= (K_{cd} l_{ск} b_{ск} \tau_{cd} + g \rho_k l_{ск} b_{ск} h_k f_{вн} + g \rho_k l_{ск} b_{ск} h_{кн} f_n + m \frac{v_c}{t}) \frac{l_{mp}}{l_{ск}} + \sigma_k b_{ск} h_{ок} \end{aligned} \quad (2.13)$$

2.5.2 Взаимодействие планок дозирующего барабана комбинированного укладчика с компонентами тепличного грунта

Процесс работы дозирующих барабанов во втором и третьем бункерах практически не отличается, поскольку в них загружаются сыпучие компоненты, несколько отличающиеся по свойствам. Частица из бункера попадает на поверхность вращающейся планки барабана. Воздействие планки на частицу в совокупности с другими силами и обуславливает ее дальнейшее движение. Рассмотрим взаимодействие частицы и планки барабана (рисунок 2.16).

Сила тяжести F_g , обуславливает движение частицы из бункера на барабан вертикально вниз. Поскольку частица оказывает воздействие на планку, то возникает сила трения о поверхность планки $F_{п}^{тр}$. При попадании частицы на планку возникает сила реакции планки F_n , направленная перпендикулярно поверхности лопасти. Далее частица вращается вместе с барабаном, поэтому возникает центробежная сила инерции $F_{н}^{цб}$. Помимо центробежной также возникает тангенциальная сила инерции $F_{н}^{\tau}$, направленная перпендикулярно поверхности планки. Также, поскольку частицы движутся дискретным, но плотным потоком, действует сила трения между ними $F_c^{тр}$. Вследствие криволинейного движения частиц будет действовать также сила инерции Кориолиса. Ее определение представляет со-

бой сложную задачу. Анализ показывает отсутствие значимой поступательной скорости относительно дозирующих барабанов, поэтому ее величиной можно пренебречь. Усилие на планке должно преодолевать все вышеуказанные силы. Для ее определения составим уравнения сил в плоской системе координат, вращающейся вместе с частицей, находящейся на планке.

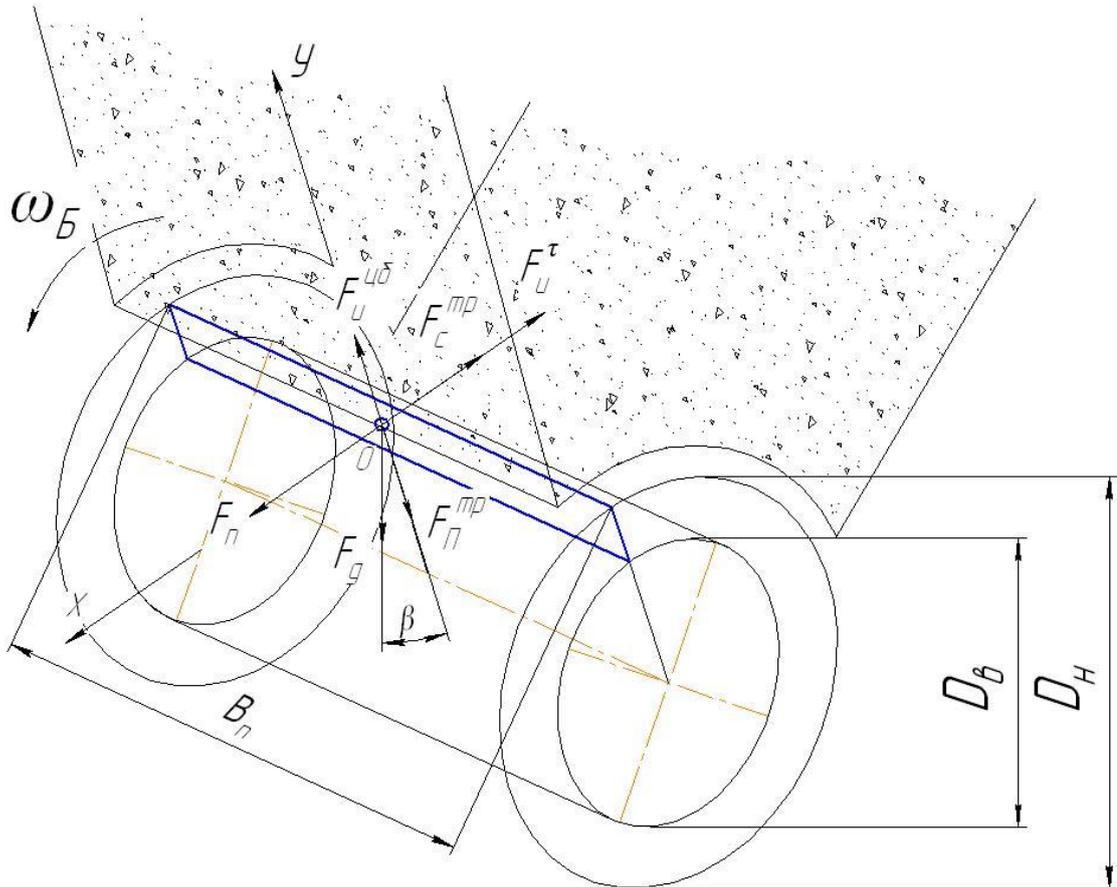


Рисунок 2.16 – Схема к определению усилия на планке дозирующего барабана

Уравнения проекций сил на координатные оси будут иметь вид:

$$\Sigma F_x = F_n + F_g \cos \beta - F_u^r - F_c^{mp} ; \quad (2.14)$$

$$\Sigma F_y = F_n + F_g \sin \beta - F_u^{cb} . \quad (2.15)$$

С учетом направления осей координат усилие на планке совпадает с осью Ox , поэтому выразим его из уравнения 2.14. После преобразований с использованием принципа Д'Аламбера, получим:

$$F_n = -F_g \cos \beta + F_u^r + F_c^{mp} . \quad (2.16)$$

Таким образом, усилие на планке преодолевает сопротивление от трения между частицами и тангенциальную силу инерции F_u :

$$F_u^\tau = m \frac{v_q - v_{оq}}{t} = m \frac{v_q}{t}, \quad (2.17)$$

где v_q – окружная скорость частицы на планке дозирующего барабана, м/с; t – время разгона частицы до скорости v_q , с.

Окружная скорость зависит от угловой скорости планки:

$$v_q = \omega_\delta R_q, \quad (2.18)$$

где ω_δ – угловая скорость дозирующего барабана, рад/с; R_q – радиус вращения частицы на планке, м. Тогда:

$$F_u^\tau = m \frac{\omega_\delta R_q}{t}. \quad (2.19)$$

Сила трения между частицами:

$$F_c^{mp} = f_{вн} m_{к\delta} g, \quad (2.20)$$

где $f_{вн}$ – коэффициент внутреннего трения; $m_{к\delta}$ – масса компонента над вращающейся планкой дозирующего барабана.

Усилие на планке будет определяться суммой вышенайденных составляющих:

$$F_n = m \frac{\omega_\delta R_q}{t} + f_{вн} m_{к\delta} g - mg \cos \beta. \quad (2.21)$$

Вращающий момент на валу дозирующего барабана определяется произведением количества планок z_n , отделяющих компонент в момент времени t на усилие на планке и средний радиус барабана:

$$T_\delta = \frac{z_n F_n D_\delta}{2}. \quad (2.22)$$

Таким образом, в результате теоретического исследования взаимодействия рабочих органов комбинированного укладчика с компонентами тепличного грунта, получены аналитические выражения для усилий и крутящего момента. Следующим процессом является смешивание компонентов и погрузка тепличного грунта

та. Данные процессы в предлагаемой технологии совмещены и выполняются погрузчиком-смесителем.

2.5.3 Взаимодействие шнекофрезерного питателя погрузчика-смесителя с компонентами тепличного грунта

Предлагаемый погрузчик-смеситель имеет шнекофрезерный рабочий орган. Для выполнения отделения и захвата, уложенных комбинированным укладчиком компонентов тепличного грунта ленточный шнек с зубьями производит два движения – линейное вместе с трактором в направлении массива компонентов и вращательное вокруг оси вала. В результате одновременного выполнения данных движений каждая точка рабочего органа описывает кривую известную как циклоида в двухмерной системе координат (рисунок 2.17). Система параметрических уравнений для данной кривой:

$$X_A = R_A \times \cos(\omega t) + vt ; \quad (2.23)$$

$$Y_A = R_A \times \sin(\omega t), \quad (2.24)$$

где ω – угловая скорость ленточного шнека, рад/с,

v – линейная скорость рабочего органа вместе с трактором, м/с,

t – время, с

R_A – радиус от оси вала ленточного шнека до точки A , м.

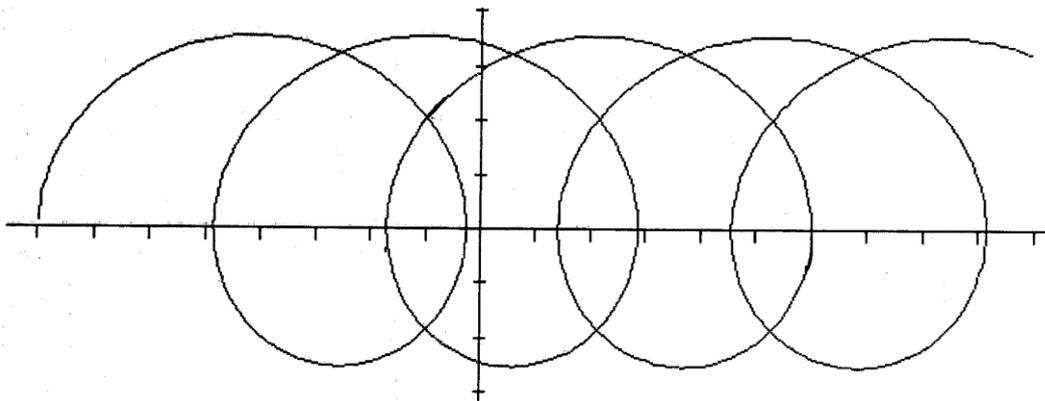


Рисунок 2.17 – Циклоидальная кривая, описывающая движение каждой точки шнекофрезерного рабочего органа погрузчика-смесителя

Процесс отделения частей компонентов тепличного грунта послойно уложенных на площадке начинается с внедрения зубьев. При внедрении зуба элементарная частица отделяемого компонента между режущей кромкой зуба и другими частицами будет создавать сопротивление внедрению (рисунок 2.18). Сопротивление внедрению элементарной ширины зуба dB создает элементарная реакция $d\bar{R}$, отклоненная от перпендикуляра к режущей кромке на угол трения φ_{mp} . Отклонение обусловлено трением скольжения по поверхности кромки. Поэтому возникает элементарная сила $d\bar{F}_{mp}$, направленная вдоль кромки зуба. Величина элементарной силы резания будет равна элементарной реакции $d\bar{R}$. Сила резания зависит от напряжения резания на элементарной площадке dA .

$$dR = \sigma_p dA, \quad (2.25)$$

где σ_p – напряжение резания компонентов тепличного грунта, МПа.

Сила отделения компонента режущей кромкой, (Н):

$$R = \sigma_p A = \sigma_p B \delta \quad (2.26)$$

где B – ширина зуба, мм; δ – толщина режущей кромки, мм.

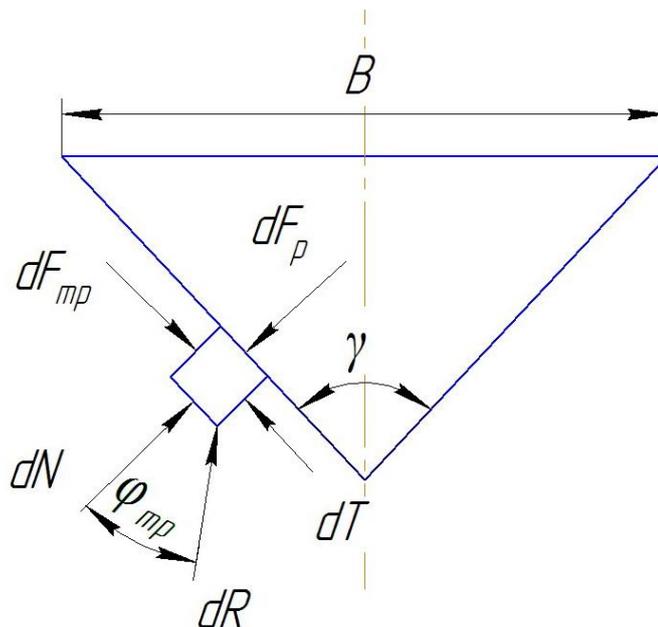


Рисунок 2.18 – Схема взаимодействия режущей кромки с компонентом тепличного грунта

Усилие взаимодействия, (Н):

$$F_3 = R \cdot \sin\left(\varphi_{mp} + \frac{\gamma}{2}\right) = \sigma_p bB \cdot \sin\left(\varphi_{mp} + \frac{\gamma}{2}\right), \quad (2.27)$$

где φ_{mp} – угол трения материала тепличного грунта по стали, град.; γ – угол атаки (угол при вершине зуба), град.

Суммарное усилие взаимодействие зубьев с компонентом тепличного грунта, (Н):

$$\sum F_3 = z_t \sigma_p bB \cdot \sin\left(\varphi_{mp} + \frac{\gamma}{2}\right), \quad (2.28)$$

где z_t – число зубьев одновременно взаимодействующих с компонентами тепличного грунта в момент времени t .

Из выражения (2.28) можно получить значения угла γ для различных компонентов, входящих в тепличный грунт. Ранее проведенными исследованиями получена его величина для органических удобрений [66]. Минимальное усилие необходимое для внедрение зуба в бурт органических удобрений соответствовало значению угла $113,5^{\circ}$. Решая аналогичную задачу с учетом коэффициентов трения компонентов тепличного грунта, примем угол $\gamma = 110^{\circ}$, угол заточки $\alpha = 60^{\circ}$.

Крутящий момент на валу ленточного шнека:

$$T = \sum F_3 z \frac{D_p}{2}, \quad (2.29)$$

где z – число зубьев, установленных на ленточном шнеке.

Форма и параметры зубьев оказывают существенное влияние на качество смешивания компонентов тепличного грунта. Наиболее распространенной является плоская форма зуба с углом к радиусу 90° . В этом случае частицы компонентов тепличного грунта скользят по поверхности зуба (рисунок 2.19, а) без взаимных смещений. Поэтому при движении процесс перемешивания не интенсифицируется. При такой форме достигается минимальное усилие внедрения. Однако, не обеспечивается улучшение качества смешивания компонентов тепличного грунта.

Второй исследуемой формой является плоская форма зуба с углом наклона менее 90° . В этом случае крошение смешиваемых компонентов увеличивается, так

как траектория движения отделенных частиц приобретает характер ломаной линии (рисунок 2.19, б). Изменение направления движения вызывает дополнительное крошение и перемешивание. Третьей исследуемой формой являлась криволинейная форма (рис 2.19, в). Форма зуба в виде сектора цилиндрической поверхности обеспечивает постоянное изменение направления движения отделенных частиц и слоя в целом и соответственно его крошение.

Влияние формы зубьев на степень смешивания тепличного грунта обусловлено тем, что при высокой степени крошения отделенные частицы материала при движении хорошо смешиваются между собой. При малой степени крошения крупные комки плохо перемешиваются и степень смешивания уменьшается. С другой стороны, на степень крошения влияют внутренние напряжения, возникающие в слое материала. Внутренние напряжения связаны с величиной энергии передаваемой в результате взаимодействия с зубом рабочего органа. Чем больше площадь взаимодействия, тем больше величина передаваемого усилия; площадь взаимодействия больше при третьей форме зуба. При первой форме площадь взаимодействия равна площади режущей кромки.

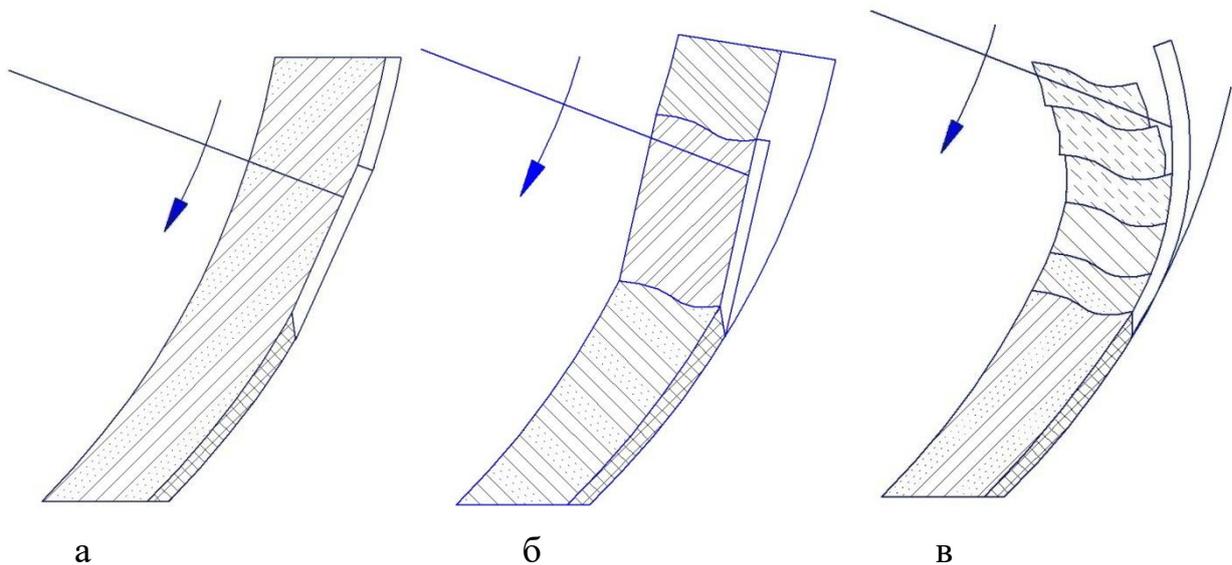


Рисунок 2.19 – Формы зубьев рабочего органа погрузчика смесителя: а – плоская форма зуба, с углом к радиусу 90° ; б – плоская форма зуба, с углом наклона к радиусу 90° ; в – криволинейная форма в виде сектора цилиндрической поверхности

Усилие, передаваемое отделяемому слою материала тепличного грунта будет определяться:

$$F_{\kappa} = \sigma_p B \delta \quad . \quad (2.30)$$

При движении по поверхности зуба со второй формой (рисунок 2.19, б) отделенный слой материала меняет направление движения вначале и в конце траектории. За счет этого увеличивается усилие, передаваемое на отделяемый материал:

$$F_{\Sigma} = F_{\kappa} + F_{mp} = \sigma_p B \delta + k_f g m f \quad , \quad (2.31)$$

где m – масса отделенного слоя, кг;

f – коэффициент трения компонента тепличного грунта по поверхности зуба;

k_f – коэффициент, учитывающий влияние угла наклона поверхности зуба [192].

Однако для увеличения степени крошения необходимо уменьшить угол наклона зуба, что увеличит энергоемкость работы.

Криволинейная форма зубьев (см. рис. 2.19) наиболее соответствует условиям разрушения отделяемого слоя на мелкие частицы, поскольку площадь воздействия поверхности на отделяемый компонент значительно больше.

Усилие взаимодействия:

$$F_{\Sigma\kappa} = F_{\kappa} + F_{mp} + F_3 = \sigma_p B \delta + k_f g m f + \sigma_{сж} A_3 \quad , \quad (2.32)$$

где $\sigma_{сж}$ – предельное напряжения сжатия материала тепличного грунта, Па;

A_3 – площадь поверхности, взаимодействующей с отделяемым тепличным грунтом, м².

Уравнение (2.28) определяет максимальную силу взаимодействия шнекофрезерного рабочего органа с компонентами тепличного грунта.

Укладка готового материала в теплицу по предлагаемой технологии производится комбинированным укладчиком. Следующим исследуемым процессом является удаление отработанного грунта полностью или его части – санитарного слоя.

2.5.4 Динамический анализ взаимодействия рабочих органов машины для удаления и погрузки с тепличным грунтом и дифференциальные уравнения движения частиц

При взаимодействии отвала со слоем тепличного грунта элементарный объем может находиться в трех положениях:

I – элементарный объем находится на передней или боковой кромке ковша и зажат между кромкой и слоем грунта. В результате воздействия кромки ковша происходит отделение части грунта от основного слоя. Так как кромка достаточно тонкая это отделение происходит деформацией резания;

II – элементарный объем взаимодействует с наклонным днищем ковша и движется по его наклонной поверхности;

III – элементарный объем взаимодействует с боковой поверхностью отвала и с наклонной поверхностью через слой грунта. Движется одновременно в трех плоскостях, т.к. боковая и наклонная поверхности отвала имеют пространственное расположение.

Найдем дифференциальные уравнения, описывающие движения частицы грунта в каждом положении.

Положение I (рисунок 2.20). Происходит разрушение связей частицы с основным слоем под действием силы F_p . Сила F_p направлена по направлению поступательного движения, т.е. по направлению скорости. Со стороны частиц действует реакция R_p , со стороны поверхности действует реакция T . Также происходит сообщение частице некоторого ускорения, т.е. возникает сила инерции $F_{и}$.

Дифференциальные уравнения движения частицы грунта по осям:

$$m \frac{d^2 x}{dt^2} = R_p - F_p - F_{ux} ; \quad (2.33)$$

$$m \frac{d^2 y}{dt^2} = T - F_g - F_{uy} , \quad (2.34)$$

где m – масса частицы, кг; F_{ux} – составляющая силы инерции по оси OX, Н; F_{uy} – составляющая силы инерции по оси OY, Н; F_g – сила тяжести, Н.

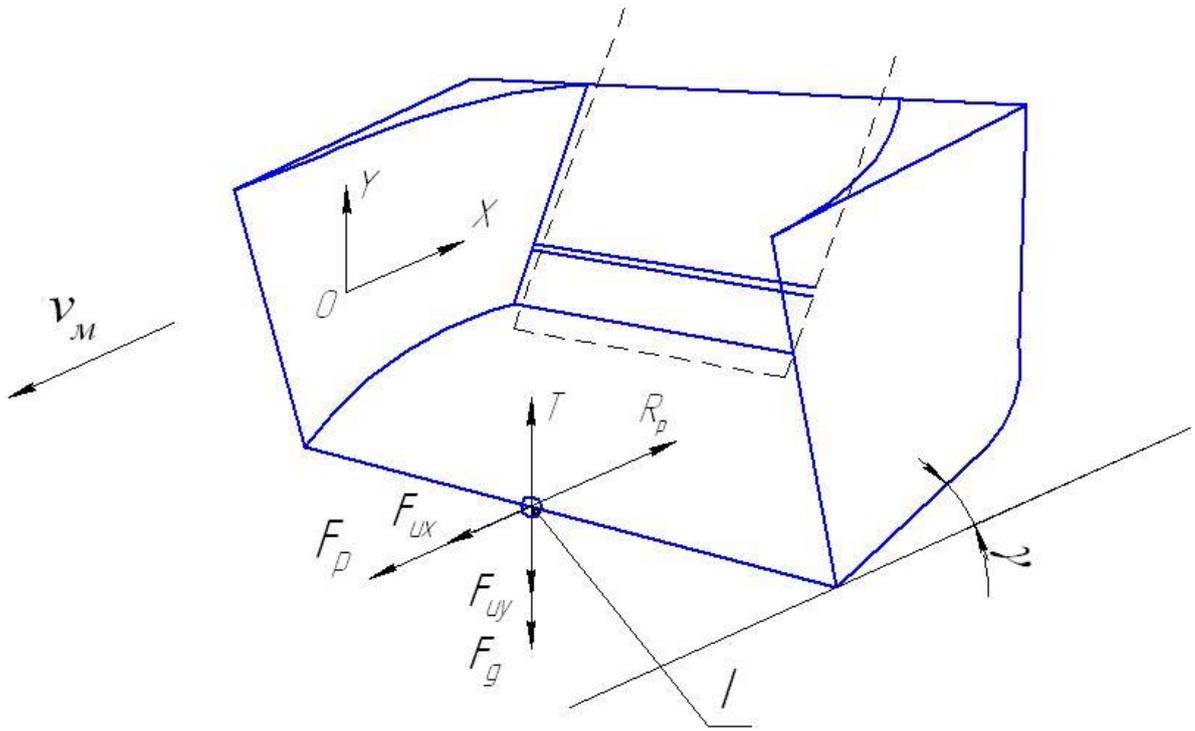


Рисунок 2.20 – Схема сил, действующих на частицу в положении I

Сила тяжести:

$$F_g = mg \quad (2.35)$$

Сила F_p определяется прочностными свойствами частицы тепличного грунта и геометрическими параметрами режущей кромки ковша. Элементарная сила резания:

$$dF_p = k_l d\delta dB \sigma_p \quad , \quad (2.36)$$

где $d\delta$ – элементарная толщина режущей кромки днища ковша, которой происходит отделение слоя от основного массива; k_l – коэффициент, учитывающий изменение толщины режущей кромки из-за налипания частиц грунта; dB – элементарная ширина режущей кромки; σ_p – напряжение разрушения частиц тепличного грунта, с учетом тонкой режущей кромки, можно принять равным напряжению резания, Па.

Следует также учесть, что при воздействии передней кромки также происходит частичное крошение слоя тепличного грунта в момент его перехода на наклонную поверхность днища ковша (рисунок 2.20).

Усилие на крошение $F_{кр}$ зависит от прочностных свойств тепличного грунта, в частности предельного напряжения сжатия $\sigma_{сж}$. Элементарная сила крошения:

$$dF_{кр} = dA\sigma_{сж} . \quad (2.37)$$

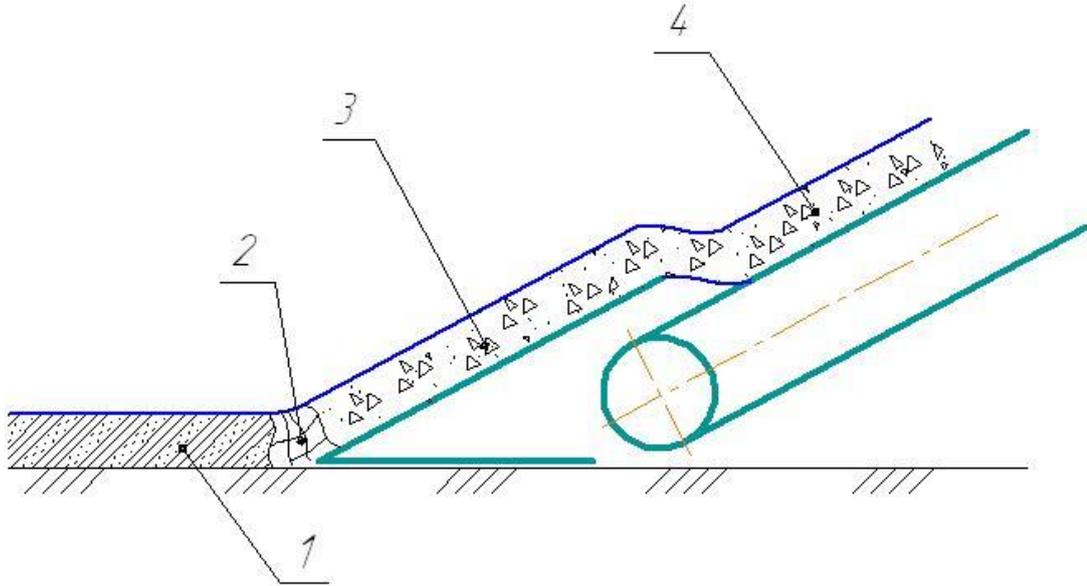


Рисунок 2.21 – Схема отделения слоя грунта: 1– слой грунта на поверхности пола теплицы, 2 – отделение и крошение слоя, 3 – отделенный и раскрошенный слой на наклонной поверхности ковша, 4 – слой на отгрузочном транспортере

Сила инерции, действующая на частицу:

$$F_u = ma , \quad (2.38)$$

где a – ускорение частицы, $м/с^2$.

С учетом расположения осей координат, сила инерции будет раскладываться на две составляющие: горизонтальную F_{ux} и вертикальную F_{uy} (рисунок 2.20):

$$F_{ux} = ma_x ; \quad (2.39)$$

$$F_{uy} = ma_y . \quad (2.40)$$

Дифференциальные уравнения движения частицы грунта по осям:

$$m \frac{d^2 x}{dt^2} = R_p - k_l d\delta dB \sigma_p - dA\sigma_{сж} - ma_x ; \quad (2.41)$$

$$m \frac{d^2 y}{dt^2} = T - mg - ma_y = T - m(g + a_y) . \quad (2.42)$$

Первоначально частица находится в состоянии покоя, т.е. начальная скорость равна нулю. В процессе взаимодействия с режущей кромкой она получает некоторую скорость v , которую также можно разложить на составляющие скорости по осям. Тогда ускорение по осям можно представить, как отношение скорости ко времени:

$$m \frac{d^2 x}{dt^2} = R_p - k_{\text{л}} d\delta dB \sigma_p - dA \sigma_{\text{сж}} - mv_x / t ; \quad (2.43)$$

$$m \frac{d^2 y}{dt^2} = T - mg - ma_y = T - m(g + v_y / t) . \quad (2.44)$$

Уравнения 2.43 и 2.44 являются уравнениями движения частиц при отделении от основного слоя.

Положение II (рисунок 2.22). В этом положении на частицу действуют F_u – сила инерции, Н; F_g – сила тяжести, Н; F_{mpn} – сила трения о наклонную поверхность ковша, Н. Также действуют реакции поверхности ковша N и реакции частиц перед рассматриваемой частицей M . Реакция N направлена по нормали к наклонной поверхности ковша и соответственно под углом γ к оси ОУ. Реакция M направлена вдоль наклонной поверхности ковша и соответственно под углом γ к оси ОХ. Следует отметить, что частица движется вверх по наклонной поверхности ковша за счет реакции M образующей подпор слоя грунта перед машиной.

Дифференциальные уравнения движения частицы грунта по осям:

$$m \frac{d^2 x}{dt^2} = M \cos \gamma - F_{mpn} \cos \gamma - F_{ux} - N \sin \gamma ; \quad (2.45)$$

$$m \frac{d^2 y}{dt^2} = N \cos \gamma + M \sin \gamma - F_{mpn} \sin \gamma - F_g - F_{uy} . \quad (2.46)$$

Сила трения будет равна произведению ускорения свободного падения и массы частицы на коэффициент трения по поверхности ковша:

$$F_{mpn} = gm f_n , \quad (2.47)$$

где f_n – коэффициент трения по поверхности ковша.

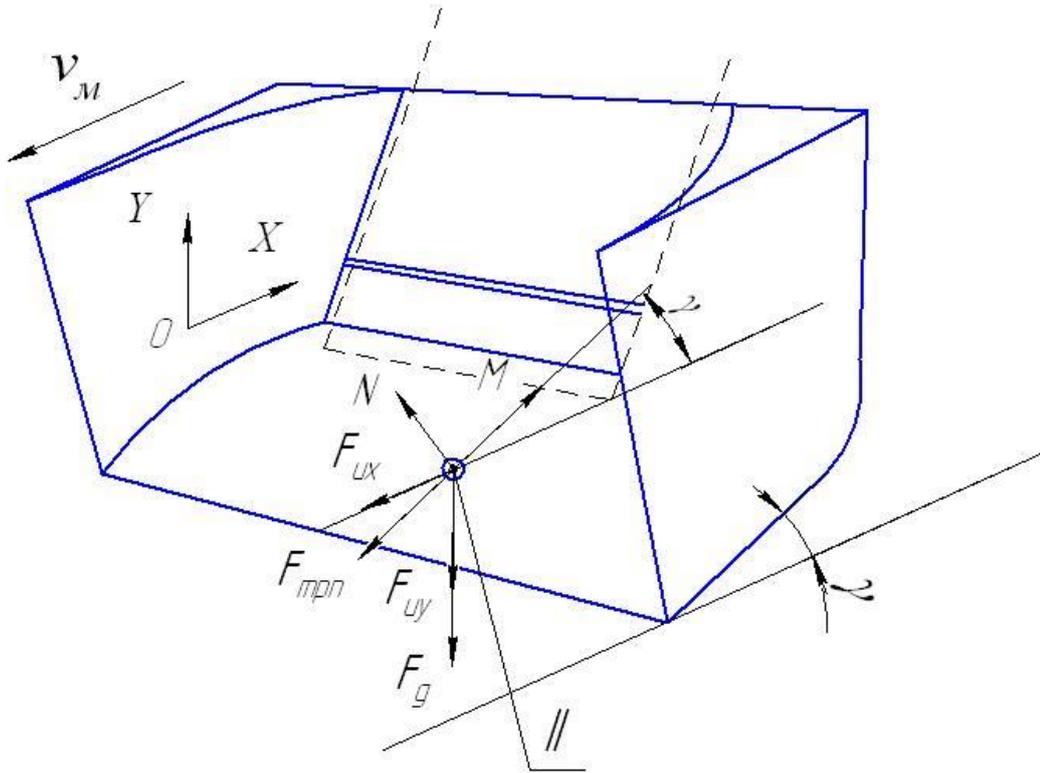


Рисунок 2.22 – Схема сил, действующих на частицу в положении II

Дифференциальные уравнения движения частицы будут иметь вид:

$$\begin{aligned}
 m \frac{d^2 x}{dt^2} &= M \cos \gamma - gmf_n \cos \gamma - mv_x / t - N \sin \gamma = \\
 &= M \cos \gamma - N \sin \gamma - m(gf_n \cos \gamma + v_x / t)
 \end{aligned} \quad ; \quad (2.48)$$

$$\begin{aligned}
 m \frac{d^2 y}{dt^2} &= N \cos \gamma + M \sin \gamma - gmf_n \sin \gamma - gm - mv_y / t = \\
 &= N \cos \gamma + M \sin \gamma - m(gf_n \sin \gamma + g + v_y / t)
 \end{aligned} \quad . \quad (2.49)$$

Уравнения (2.48) и (2.49) являются уравнениями движения частиц при движении по наклонной поверхности ковша.

Положение III (рисунок 2.23) – частица, находящаяся на боковой поверхности отвала при работе машины, движется по пространственной траектории, т.е. в трех координатной системе. Вдоль оси OX действует сила трения о боковую поверхность отвала $F_{трб}$, направленная по касательной к боковой поверхности в точке касания частицы (под углом θ к оси OX). Также действует составляющая силы сдвига R_b , направленной по нормали к боковой поверхности отвала и со-

ставляющая силы инерции F_{ux} , направленная вдоль оси Ox в обратном направлении скорости движения частицы. Сила реакции частиц P , находящихся сзади рассматриваемой частицы направлена вдоль оси Ox , создает подпор и способствует движению частиц к отгрузочному транспортеру.

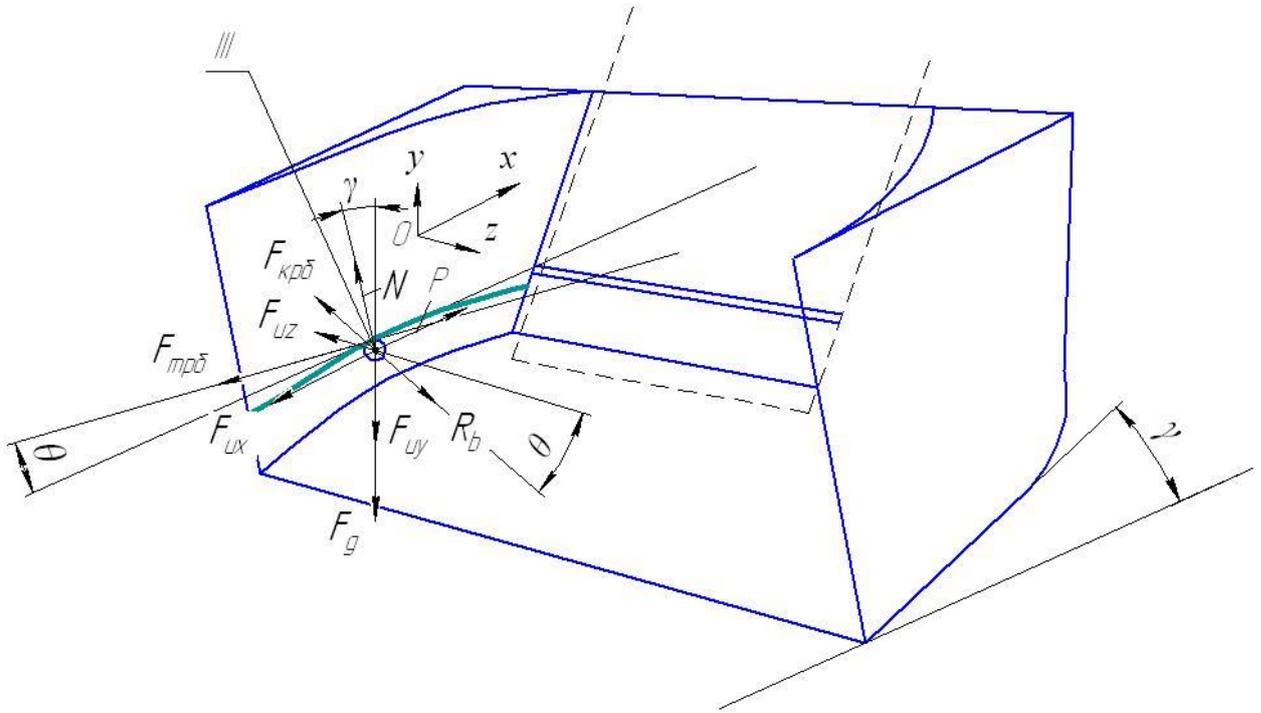


Рисунок 2.23 – Схема сил, действующих на частицу в положении III

Вдоль оси Oz действуют составляющая силы трения о боковую поверхность отвала $F_{трб}$, составляющая сил инерции F_{uz} , реакция боковой поверхности отвала R_b . При движении частицы по боковой поверхности отвала она будет испытывать сопротивление частиц, находящихся ближе к центру отвала. Поскольку частица будет совершать дальнейшее движение, то происходит крошение и сдвиг частиц, находящихся правее рассматриваемой. Таким образом, появляется дополнительная сила бокового крошения $F_{крб}$. Сила $F_{крб}$ будет направлена также по линии реакции боковой поверхности отвала R_b , но в обратном направлении.

Таким образом, дифференциальные уравнения движения частицы в данном положении будут иметь вид:

$$m \frac{d^2 x}{dt^2} = P + F_{крб} \sin \theta - R_b \sin \theta - F_{трб} \cos \theta - F_{ux} - N \sin \gamma ; \quad (2.50)$$

$$m \frac{d^2 y}{dt^2} = N \cos \gamma - F_g - F_{uy} \quad ; \quad (2.51)$$

$$m \frac{d^2 z}{dt^2} = R_b \cos \theta - F_{uz} - F_{mp\bar{b}} \sin \theta - F_{кр\bar{b}} \cos \theta \quad . \quad (2.52)$$

Уравнения (2.50 - 2.52) позволяют раскрыть некоторые составляющие. Сила бокового крошения слоя связана с напряжениями сжатия. Крошение слоя происходит при превышении внутренних напряжений сжатия $\sigma_{сж}$ их предельному значению:

$$F_{кр\bar{b}} = A \sigma_{сж} \quad , \quad (2.53)$$

где A – площадь частицы, сопротивляющейся сжатию, мм^2 . Поскольку слой грунта в нормальном сечении имеет форму прямоугольника, то и частицу, в нормальном сечении, также примем в форме прямоугольника со сторонами a и b . Тогда:

$$F_{кр\bar{b}} = ab \sigma_{сж} \quad . \quad (2.54)$$

Сила трения о боковую поверхность отвала $F_{mp\bar{b}}$ равна силе нормального давления на боковую поверхность умноженной на коэффициент трения по боковой поверхности отвала. Анализ рисунка 2.23 показывает, что силой нормального давления, прижимающей частицу к боковой поверхности отвала будет сумма проекций на нормаль к боковой поверхности сил $F_{кр\bar{b}}$ и F_{uz} . В этом случае используется проекция силы инерции $F_{uz} \cos \theta$:

$$F_{mp\bar{b}} = (F_{кр\bar{b}} + F_{uz} \cos \theta) f_n \quad . \quad (2.55)$$

Сила тяжести и сила инерции определяются аналогично по вышеприведенным формулам (2.35, 2.38). В итоге дифференциальные уравнения движения частицы в положении III будут иметь вид:

$$m \frac{d^2 x}{dt^2} = P + ab \sigma_{сж} \sin \theta - R_b \sin \theta - (F_{кр\bar{b}} + F_{uz} \cos \theta) f_n \cos \theta - mv_x / t - N \sin \gamma \quad ; \quad (2.56)$$

$$m \frac{d^2 y}{dt^2} = N \cos \gamma - mg - mv_y / t = N \cos \gamma - m(g + v_y / t) \quad ; \quad (2.57)$$

$$m \frac{d^2 z}{dt^2} = R_b \cos \theta - mv_z / t - (F_{крб} + F_{uz} \cos \theta) f_n \sin \theta - F_{крб} \cos \theta \quad . \quad (2.58)$$

Раскрывая входящие силы, получим:

$$m \frac{d^2 x}{dt^2} = P + ab \sigma_{сж} \sin \theta - R_b \sin \theta - \\ - (ab \sigma_{сж} + mv_z \cos \theta / t) f_n \cos \theta - mv_x / t - N \sin \gamma \quad ; \quad (2.59)$$

$$m \frac{d^2 y}{dt^2} = N \cos \gamma - mg - mv_y / t = N \cos \gamma - m(g + v_y / t) ; \quad (2.60)$$

$$m \frac{d^2 z}{dt^2} = R_b \cos \theta - mv_z / t - (ab \sigma_{сж} + mv_z \cos \theta / t) f_n \sin \theta - \\ - ab \sigma_{сж} \cos \theta \quad . \quad (2.61)$$

Таким образом, проведенный динамический силовой анализ позволил получить дифференциальные уравнения движения на всех характерных участках взаимодействия отвала с тепличным грунтом. Для нахождения усилия преодолеваемого машиной при работе необходимо решить полученные уравнения относительно суммарного сопротивления движению машины.

2.5.5 Суммарное сопротивление движению машины для удаления и погрузки в технологическом процессе удаления тепличного грунта

Выполним решение полученных дифференциальных уравнений относительно усилий, образующих сопротивление движению машины.

I положение. Задачей решения дифференциальных уравнений (2.43) и (2.44) будет нахождение силы R_p , которая и образует сопротивление движению машины в первом положении. Очевидно (рисунок 2.20), что сопротивление движению образуют силы по оси ОХ. Для нахождения силы R_p необходимо решить уравнение (2.43). Ввиду того, что частица при взаимодействии с режущей кромкой движется прямолинейно, и с малой скоростью, исключим из правой части силу инерции, получим:

$$m \frac{d^2 x}{dt^2} = dR_p - k_l d\delta dB \sigma_p - dA \sigma_{сж} . \quad (2.62)$$

Поскольку в правой части находятся величины независимые от времени, то интегрирование может быть выполнено следующим образом:

$$\int_R dR_p = R_p ; \quad \int_A dA \sigma_{сж} = A \sigma_{сж} ; \quad \iint_{\delta} k_l d\delta dB \sigma_p = k_l \delta B \sigma_p . \quad (2.63)$$

Получим:

$$m \frac{d^2 x}{dt^2} = R_p - k_l \delta B \sigma_p - A \sigma_{сж} . \quad (2.64)$$

Представим вторую производную координаты по времени как первую производную скорости и преобразуем уравнение (2.64):

$$m \frac{d^2 x}{dt^2} = m \frac{dv}{dt} , \text{ тогда:}$$

$$R_p = m \frac{dv}{dt} + k_l \delta B \sigma_p + A \sigma_{сж} . \quad (2.65)$$

Умножим обе части уравнения (2.65) на dt :

$$R_p dt = m dv + k_l \delta B \sigma_p dt + A \sigma_{сж} dt . \quad (2.66)$$

Проинтегрируем:

$$\int R_p dt = \int m dv + \int k_l \delta B \sigma_p dt + \int A \sigma_{сж} dt . \quad (2.67)$$

Получим:

$$R_p t = m v + k_l \delta B \sigma_p t + A \sigma_{сж} t + C . \quad (2.68)$$

Разделим обе части уравнения (2.68) на t :

$$R_p = m v / t + k_l \delta B \sigma_p + A \sigma_{сж} + C , \quad (2.69)$$

где v – поступательная скорость рабочего органа (машины), t – время взаимодействия отделяемой и режущей кромки отвала. C – постоянная интегрирования, которая равна нулю – так как в исходном положении скорость равна нулю.

Уравнение (2.69) позволяет перейти от отдельной частицы к отделяемому слою тепличного грунта. Масса m отделяемой части слоя может быть найдена исходя из плотности тепличного грунта ρ и его объема. Объем отделяемой части:

$$V = Bh l_0 , \quad (2.70)$$

где B – ширина захвата рабочего органа, м; h – высота отделяемого слоя тепличного грунта, м; l_0 – длина взаимодействующей части слоя, м.

$$m = Bh l_0 \rho . \quad (2.71)$$

Площадь A крошения отделяемого слоя определяется произведением ширины отделения, равной ширине захвата, его высоты и количеством разломов n_p :

$$A = Bhn_p . \quad (2.72)$$

Окончательно для силы R_p , которая образует сопротивление движению машины в первом положении, получим:

$$R_p = Bh l_0 v / t + k_d \delta B \sigma_p + Bhn_p \sigma_{сж} . \quad (2.73)$$

II положение. Задачей решения уравнений движения частиц (2.48, 2.49) при движении по наклонной поверхности отвала является нахождение суммарной силы сопротивления движению ковша. Таким образом, необходимо найти силу сопротивления по оси ОХ (поступательного движения частицы) и силу сопротивления по оси ОУ (подъема частицы на высоту ковша, с которой частица попадает на транспортер).

Для уравнения (2.48) необходимо найти проекцию на горизонтальную ось реакцию M частиц перед рассматриваемой частицей; для уравнения (2.49) необходимо найти проекцию на вертикальную ось реакции поверхности ковша N . Анализ уравнений показывает, что частица при взаимодействии с наклонной поверхностью ковша движется прямолинейно, поэтому исключим из правой части силу инерции, получим:

$$\begin{aligned} m \frac{d^2 x}{dt^2} &= M \cos \gamma - gm f_n \cos \gamma - N \sin \gamma = \\ &= M \cos \gamma + N \sin \gamma - gm f_n \cos \gamma \end{aligned} ; \quad (2.74)$$

$$\begin{aligned} m \frac{d^2 y}{dt^2} &= N \cos \gamma + M \sin \gamma - gm f_n \sin \gamma - gm = \\ &= N \cos \gamma + M \sin \gamma - m(g f_n \sin \gamma + g) \end{aligned} . \quad (2.75)$$

Поскольку поступательная скорость машины является известной величиной, что облегчает решение, перепишем дифференциальные уравнения в виде:

$$\begin{aligned} m \frac{dv_x}{dt} &= M \cos \gamma - gmf_n \cos \gamma - N \sin \gamma = \\ &= M \cos \gamma + N \sin \gamma - mgf_n \cos \gamma \end{aligned} \quad ; \quad (2.76)$$

$$\begin{aligned} m \frac{dv_y}{dt} &= N \cos \gamma + M \sin \gamma - gmf_n \sin \gamma - gm = \\ &= N \cos \gamma + M \sin \gamma - m(gf_n \sin \gamma + g) \end{aligned} \quad . \quad (2.77)$$

Умножим обе части уравнения на dt :

$$mdv_x = M \cos \gamma dt - N \sin \gamma dt - mgf_n \cos \gamma dt ; \quad (2.78)$$

$$mdv_y = N \cos \gamma dt + M \sin \gamma dt - m(gf_n \sin \gamma + g) dt . \quad (2.79)$$

Проинтегрируем уравнения 2.78 и 2.79:

$$\int mdv_x = \int M \cos \gamma dt - \int N \sin \gamma dt - \int mgf_n \cos \gamma dt ; \quad (2.80)$$

$$\int mdv_y = \int N \cos \gamma dt + \int M \sin \gamma dt - \int m(gf_n \sin \gamma + g) dt . \quad (2.81)$$

Интегрирование ведется по времени, угол постоянная величина. В результате получим:

$$mv_x = M (\cos \gamma)t - N (\sin \gamma)t - mgf_n (\cos \gamma)t ; \quad (2.82)$$

$$mv_y = N (\cos \gamma)t + M (\sin \gamma)t - m(gf_n \sin \gamma + g)t . \quad (2.83)$$

Поделим обе части уравнений на t и преобразуем:

$$-M \cos \gamma = -m \frac{v_x}{t} + N \sin \gamma - mgf_n (\cos \gamma) ; \quad (2.84)$$

$$-N \cos \gamma = -m \frac{v_y}{t} + M \sin \gamma - m(gf_n \sin \gamma + g) ; \quad (2.85)$$

ИЛИ

$$M \cos \gamma = m \frac{v_x}{t} + N \sin \gamma + mgf_n (\cos \gamma) ; \quad (2.86)$$

$$N \cos \gamma = m \frac{v_y}{t} - M \sin \gamma + m(gf_n \sin \gamma + g) . \quad (2.87)$$

Уравнения (2.86) и (2.87) представляют собой систему двух уравнений с двумя неизвестными. Выразим в уравнении (2.87) усилие N :

$$N = m \frac{v_y}{t \cos \gamma} - M \times \operatorname{tg} \gamma + m(gf_n \times \operatorname{tg} \gamma + g / \cos \gamma) . \quad (2.88)$$

Подставим в уравнение (2.86):

$$\begin{aligned} M \cos \gamma = m \frac{v_x}{t} + (m \frac{v_y}{t \cos \gamma} - M \times \operatorname{tg} \gamma + \\ + m(gf_n \times \operatorname{tg} \gamma + g / \cos \gamma)) \sin \gamma + mgf_n (\cos \gamma) \end{aligned} . \quad (2.89)$$

Решая (2.89) относительно усилия M , получим:

$$\begin{aligned} M (\cos \gamma + \operatorname{tg} \gamma \sin \gamma) = m \frac{v_x}{t} + (m \frac{v_y}{t \cos \gamma} + \\ + m(gf_n \times \operatorname{tg} \gamma + g / \cos \gamma)) \sin \gamma + mgf_n (\cos \gamma) \end{aligned} ; \quad (2.90)$$

$$\begin{aligned} M = [m \frac{v_x}{t} + (m \frac{v_y}{t \cos \gamma} + \\ + m(gf_n \times \operatorname{tg} \gamma + g / \cos \gamma)) \sin \gamma + mgf_n (\cos \gamma)] / (\cos \gamma + \operatorname{tg} \gamma \sin \gamma) \end{aligned} . \quad (2.91)$$

Аналогично выразим усилие M из уравнения (2.86):

$$M = m \frac{v_x}{t \cos \gamma} - N \operatorname{tg} \gamma + mgf_n . \quad (2.92)$$

Подставим (2.92) вместо M в уравнении (2.87):

$$N \cos \gamma = m \frac{v_y}{t} - (m \frac{v_x}{t \cos \gamma} - N \operatorname{tg} \gamma + mgf_n) \sin \gamma + m(gf_n \sin \gamma + g) . \quad (2.93)$$

Решая уравнение (2.93) относительно N получим:

$$N = \frac{m \frac{v_y}{t} - (m \frac{v_x}{t \cos \gamma} + mgf_n) \sin \gamma + m(gf_n \sin \gamma + g)}{\cos \gamma (1 - \sin^2 \gamma)} . \quad (2.94)$$

Выражения (2.92) и (2.94) позволяют определить реакции M и N , которые являются сопротивлением движению частицы соответственно вдоль поверхности ковша и перпендикулярно этой поверхности, а величины $M \cos \gamma$ и $N \cos \gamma$ представляют собой сопротивление перемещению по горизонтали и вертикали.

III положение. Система уравнений (2.59-2.61) является системой трех уравнений с тремя неизвестными, что позволяет решить ее методами математического анализа и классической механики. Однако, при таком решении и результаты будут громоздкими и неудобными для дальнейшего использования. Поэтому для решения проведем анализ данных уравнений. Уравнение (2.60) представляет собой дифференциальное уравнение движения частицы по оси ОУ и может быть учтено уравнением (2.49) и его решением – уравнением (2.94) путем учета всей массы m . Таким образом, для решения и нахождения сил сопротивления перемещению в третьем положении используем уравнения (2.59) и (2.61).

Перепишем данные уравнения в виде:

$$m \frac{dv_x}{dt} = P + ab\sigma_{сж} \sin \theta - R_b \sin \theta - (ab\sigma_{сж} + mv_z \cos \theta / t) f_n \cos \theta - mv_x / t - N \sin \gamma ; \quad (2.95)$$

$$m \frac{dv_z}{dt} = R_b \cos \theta - mv_z / t - (ab\sigma_{сж} + mv_z \cos \theta / t) f_n \sin \theta - ab\sigma_{сж} \cos \theta . \quad (2.96)$$

В правой части уравнения присутствуют силы инерции. Они связаны с криволинейным движением частиц по боковой поверхности отвала. Их определение весьма сложно и решение уравнений (2.95) и (2.96) в этом случае возможно с применением численных методов. Подстановка значений скорости, радиуса кривизны поверхности, массы и времени показывает, что величина данных инерционных сил мала в сравнении с другими силами. Поэтому с целью упрощения исключим из уравнений составляющие, связанные с силами инерции в правой части уравнений. Получим:

$$m \frac{dv_x}{dt} = P + ab\sigma_{сж} \sin \theta - R_b \sin \theta - ab\sigma_{сж} f_n \cos \theta - N \sin \gamma ; \quad (2.97)$$

$$m \frac{dv_z}{dt} = R_b \cos \theta - ab\sigma_{сж} f_n \sin \theta - ab\sigma_{сж} \cos \theta . \quad (2.98)$$

Умножим обе части уравнения на dt :

$$mdv_x = Pdt + ab\sigma_{сж} \sin \theta dt - R_b \sin \theta dt - ab\sigma_{сж} f_n \cos \theta dt - N \sin \gamma dt ; \quad (2.99)$$

$$mdv_z = R_b \cos \theta dt - ab\sigma_{\text{сжс}} f_n \sin \theta dt - ab\sigma_{\text{сжс}} \cos \theta dt . \quad (2.100)$$

Проинтегрируем уравнения 2.99 и 2.100:

$$\int mdv_x = \int P dt + \int ab\sigma_{\text{сжс}} \sin \theta dt - \int R_b \sin \theta dt - \int ab\sigma_{\text{сжс}} f_n \cos \theta dt - \int N \sin \gamma dt ; \quad (2.101)$$

$$\int mdv_z = \int R_b \cos \theta dt - \int ab\sigma_{\text{сжс}} f_n \sin \theta dt - \int ab\sigma_{\text{сжс}} \cos \theta dt . \quad (2.102)$$

Интегрирование ведется по времени, при этом угол θ – величина, зависящая от времени. В результате интегрирования получим:

$$mv_x = Pt - ab\sigma_{\text{сжс}} \cos \theta t + R_b \sin \theta t - ab\sigma_{\text{сжс}} f_n \sin \theta t - N \sin \gamma t + C ; \quad (2.103)$$

$$mv_z = R_b \sin \theta t + ab\sigma_{\text{сжс}} f_n \cos \theta t - ab\sigma_{\text{сжс}} \sin \theta t + C . \quad (2.104)$$

Разделим обе части уравнений на t и преобразуем с учетом того, что N в данной системе не учитывается:

$$P = m \frac{v_x}{t} - ab\sigma_{\text{сжс}} \cos \theta + R_b \sin \theta - ab\sigma_{\text{сжс}} f_n \sin \theta ; \quad (2.105)$$

$$R_b = m \frac{v_z}{t \sin \theta} + ab\sigma_{\text{сжс}} f_n \text{ctg} \theta - ab\sigma_{\text{сжс}} . \quad (2.106)$$

Уравнения (2.105) и (2.106) определяют сопротивление движению частицы в положении III.

Таким образом, определены все сопротивления движению частицы при удалении слоя тепличного грунта.

Полученные выражения (2.73, 2.92, 2.94, 2.105, 2.106) представляют собой силовой анализ взаимодействия рабочих органов с тепличным грунтом 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 тепличного грунта и его компонентов.

2.6 Производительность технологических машин

Производительность технологических машин в предлагаемой технологии – масса тепличного грунта, которую рабочие органы перерабатывают в единицу времени. При работе комбинированный укладчик одновременно и непрерывно укладывает на площадку до трех компонентов тепличного грунта. Погрузчик-смеситель смешивает компоненты и отгружает готовый тепличный грунт для транспортирования в теплицу, машина для удаления грунта также одновременно выполняет отделение, захват и погрузку удаляемой части тепличного грунта. В соответствии с этим можно выделить три вида производительности: производительность укладки, производительность смешивания и погрузки, производительность удаления.

2.6.1 Производительность комбинированного укладчика

Производительность укладки компонентов тепличного грунта комбинированным укладчиком Q_y (кг/с) включает производительность укладки дозирующими барабанами и производительность укладки соответствующего компонента цепным транспортером:

$$Q_y = Q_{цт} + Q_{1Б} + Q_{2Б} , \quad (2.107)$$

где $Q_{цт}$ – производительность цепного транспортера, кг/с;

$Q_{1Б}$ – производительность первого дозирующего барабана, кг/с;

$Q_{2Б}$ – производительность второго дозирующего барабана, кг/с.

Производительность транспортера в переднем бункере комбинированного укладчика определяется геометрическими параметрами и скоростью скребков, а также заполнением межскребкового пространства:

$$Q_{цт} = K_3 b_{ск} h_{ск} \rho_k v_c , \quad (2.108)$$

где K_3 – коэффициент заполнения межскребкового пространства,

ρ_k – плотность материала в переднем бункере укладчика, кг/м³,

v_c – скорость скребков транспортера, м/с.

Производительность укладки компонентов дозирующими барабанами:

$$Q_B = \rho_k V_k / t_\theta, \quad (2.109)$$

где ρ_k – средняя плотность компонентов во втором и третьем бункере, кг/м³;

V_k – объем компонента тепличного грунта, укладываемого дозирующим барабаном за один оборот, м³;

t_θ – время укладки компонента V_k , с.

$$t_\theta = 1/n_k, \quad (2.110)$$

где n_k – частота вращения дозирующего барабана, с⁻¹.

Объем укладки V_k в выражении (2.109) определяется разностью объемов цилиндров с наружной образующей по верхним и нижним точкам продольных планок. Данный объем может быть определен как площадь боковой проекции кольца, образуемого указанными цилиндрами умноженной на ширину продольной планки дозирующего барабана.

Площадь боковой проекции кольца (рисунок 2.16):

$$A_n = \pi \left(\frac{\alpha_n}{2\pi} \right) \frac{D_n^2 - D_B^2}{4}. \quad (2.111)$$

Тогда объем компонентов V_k :

$$V_k = K_{з1} \pi \left(\frac{\alpha_n}{2\pi} \right) \frac{D_n^2 - D_B^2}{4} B_n z_n, \quad (2.112)$$

где z_n – число продольных планок на барабане; $K_{з1}$ – коэффициент заполнения пространства между планками; B_n – ширина продольной планки, м.

Подставляя (2.112) и (2.110) в выражение (2.109) получим:

$$Q_B = \rho_k K_{з1} \pi \left(\frac{\alpha_n}{2\pi} \right) \frac{D_n^2 - D_B^2}{4} B_n z_n n_k. \quad (2.113)$$

Производительность укладки компонентов тепличного грунта всеми рабочими органами комбинированного укладчика:

$$\begin{aligned}
Q_y &= K_3 b_{ck} h_{ck} \rho_k v_c + \rho_{k1} K_{31} \pi \left(\frac{\alpha_{n1}}{2\pi} \right) \frac{D_{H1}^2 - D_{B1}^2}{4} B_{n1} z_{n1} n_{k1} + \rho_{k2} K_{32} \pi \left(\frac{\alpha_{n2}}{2\pi} \right) \frac{D_{H2}^2 - D_{B2}^2}{4} B_{n2} z_{n2} n_{k2} \\
&= K_3 b_{ck} h_{ck} \rho_k v_c + \frac{\rho_{k1} K_{31} \alpha_{n1} B_{n1} z_{n1} n_{k1} (D_{H1}^2 - D_{B1}^2)}{8} + \frac{\rho_{k2} K_{32} \alpha_{n2} B_{n2} z_{n2} n_{k2} (D_{H2}^2 - D_{B2}^2)}{8} ,
\end{aligned}
\tag{2.114}$$

где индекс «1» относится к первому дозирующему барабану, индекс «2» – ко второму дозирующему барабану.

2.6.2 Производительность погрузчика-смесителя

Производительность рабочего процесса, выполняемого погрузчиком-смесителем за определенное время:

$$Q = m/t , \tag{2.115}$$

где m – масса подготовленного тепличного грунта, кг;

t – время работы погрузчика-смесителя, ч.

Тепличный грунт состоит из нескольких компонентов с различной плотностью. Кроме того, различный по составу тепличный грунт может включать различное количество компонентов. Поэтому суммарная масса m тепличного грунта рассчитывается как сумма масс n компонентов.

$$m = (\rho_1 V_1 + \rho_2 V_2 + \dots + \rho_n V_n), \tag{2.116}$$

где (V_1, V_2, \dots, V_n) – объем 1, 2 ... n -го компонента, м³;

$(\rho_1, \rho_2, \dots, \rho_n)$ – плотность 1, 2 ... n -го компонента, кг/м³.

Для тепличного грунта, включающего 3 компонента (2.116) будет иметь вид:

$$m = (\rho_1 V_1 + \rho_2 V_2 + \rho_3 V_3) . \tag{2.117}$$

Высота слоев компонентов тепличного грунта зависит от состава и смешиваемых компонентов, что влияет на объем, отделяемый рабочим органом. Объем также зависит от конструктивно-режимных параметров ленточного шнека и

зубьев. Объем, отделяемый зубом в процессе работы, геометрически представляет собой призму с равными основаниями секторальной формы (рисунок 2.24). Объем такой призмы вычислим как произведение ширины зуба B_z и площади основаниями секторальной формы A_i . Ширина зуба постоянна, однако площадь основания зависит от расположения и высоты слоя компонента. В общем случае:

$$V = B_z A_i . \quad (2.118)$$

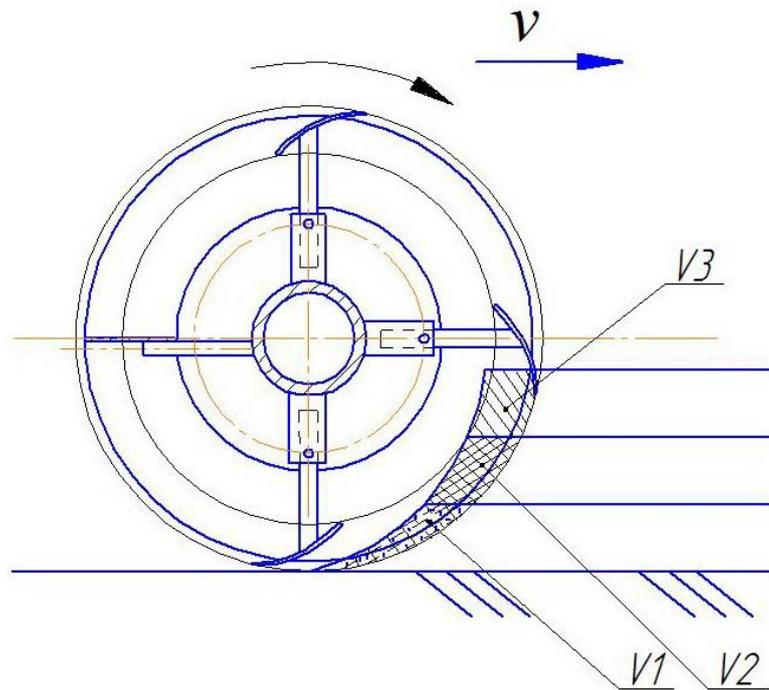


Рисунок 2.24 – Схема к определению объема, отделяемого зубьями

Площадь основания призмы с учетом рис. 2.24 определим, как интеграл:

$$A_o = \pm \int_0^T X(t) \dot{Y}(t) dt . \quad (2.119)$$

При условии $\begin{cases} x = x(t) \\ y = y(t) \end{cases} \quad 0 \leq t \leq T .$

Прохождение зуба через уложенные слои компонентов тепличного грунта последовательно пересекает граничные линии (рисунок 2.25). Ось X направим через ось рабочего органа погрузчика горизонтально в направлении его движения.

Угол вращения для удобства расчетов отсчитывается от оси Y по часовой стрелке. Система параметрических уравнений для каждой точки ленточного шнека с зубьями:

$$\begin{cases} x = R \sin \omega t + vt \\ y = R(1 + \cos \omega t) \end{cases}, \quad (2.120)$$

где v – скорость движения погрузчика-смесителя, м/с;

ω – угловая скорость ленточного шнека с зубьями, рад/с;

R – радиус, м.

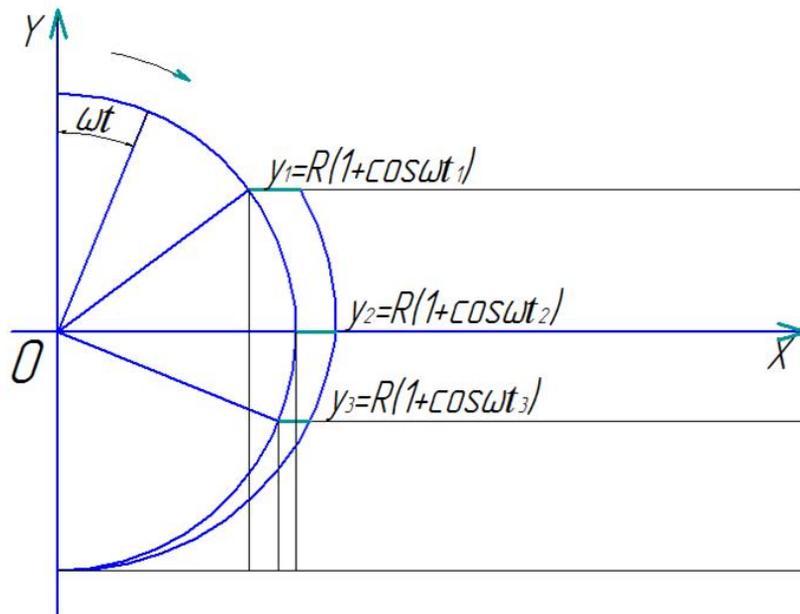


Рисунок 2.25 – Схема к определению площади основания призмы при отделении компонентов тепличного грунта

Площадь поперечного сечения среза слоев компонентов тепличного грунта определяется как разность:

$$A_i = S_i - S_{p_i}. \quad (2.121)$$

Тогда с учетом (2.121):

$$S_i = \int_{t_i}^{t_{i+1}} x(t) \frac{dy}{dt} dt = \int_{t_i}^{t_{i+1}} (R \sin \omega t + vt)(-R\omega \sin \omega t) dt = - \int_{t_i}^{t_{i+1}} R^2 \omega \sin^2 \omega t dt - \int_{t_i}^{t_{i+1}} RV \omega t \sin \omega t dt \quad (2.122)$$

Проинтегрируем выражение (2.122):

$$\int_{t_i}^{t_{i+1}} R^2 \omega \sin^2 \omega t dt = R^2 \omega \int_{t_i}^{t_{i+1}} \frac{1 - \cos 2\omega t}{2} dt = \frac{R^2 \omega}{2} t \Big|_{t_i}^{t_{i+1}} - \frac{R^2}{4} \sin 2\omega t \Big|_{t_i}^{t_{i+1}}$$

$$\int_{t_i}^{t_{i+1}} Rv\omega t \sin \omega t dt = -Rvt \cos \omega t \Big|_{t_i}^{t_{i+1}} + Rv \int_{t_i}^{t_{i+1}} \cos \omega t dt = \left[-Rvt \cos \omega t + \frac{Rv \sin \omega t}{\omega} \right]_{t_i}^{t_{i+1}}$$

Площадь i -той фигуры:

$$S_i = \left[-\frac{R^2 \omega}{2} t + \frac{R^2}{4} \sin 2\omega t + Rvt \cos \omega t - \frac{Rv}{\omega} \sin \omega t \right]_{t_i}^{t_{i+1}} . \quad (2.123)$$

Верхние границы слоев y_1, y_2, y_3 связаны с моментами времени t_1, t_2, t_3 в которые зуб рабочего органа достигает этих точек, соотношениями:

$$y_1 = R \cdot (1 + \cos \omega t_1) ; \quad (2.124)$$

$$y_2 = R \cdot (1 + \cos \omega t_2) ; \quad (2.125)$$

$$y_3 = R \cdot (1 + \cos \omega t_3) . \quad (2.126)$$

Момент времени t_4 , в который первый зуб завершает дугу, ($y_4 = 0$):

$$y_4 = R \cdot (1 + \cos \omega t_3) = 0 . \quad (2.127)$$

Из этих выражений вычисляем пределы интегрирования t_1, t_2, t_3, t_4 :

$$t_i = \frac{1}{\omega} \arccos \frac{y_i - R}{R} , \text{ где } i=1,2,3,4. \quad (2.128)$$

Значения тригонометрических функций, входящих в формулу для вычисления интегралов S_i , в точках t_1, t_2, t_3, t_4 :

$$\cos \omega \cdot t_i = \cos \left(\frac{1}{\omega} \arccos \frac{y_i - R}{R} \right) = \frac{y_i - R}{R} ; \quad (2.129)$$

$$\sin \omega \cdot t_i = \sqrt{1 - \cos^2 \omega t_i} = \sqrt{1 - \frac{(y_i - R)^2}{R^2}} = \frac{\sqrt{2y_i R - y_i^2}}{R} ; \quad (2.130)$$

$$\sin 2\omega \cdot t = 2 \sin \omega t \cos \omega t = 2 \frac{y_i - R}{R^2} \sqrt{2y_i R - y_i^2} . \quad (2.131)$$

Подставляя полученные выражения в формулу для S_i , получаем выражение, включающее известные или вычисляемые параметры:

$$\begin{aligned}
S_i &= \left[-\frac{R^2\omega}{2} \times \frac{1}{\omega} \arccos\left(\frac{y_{i+1}-R}{R}\right) + \frac{R^2}{4} \times 2 \times \frac{y_{i+1}-R}{R^2} \times \sqrt{2y_{i+1}R - y_{i+1}^2} + \right. \\
&+ Rv \times \frac{1}{\omega} \arccos\left(\frac{y_{i+1}-R}{R}\right) \times \frac{y_{i+1}-R}{R} - \frac{Rv}{\omega} \times \frac{\sqrt{2y_{i+1}R - y_{i+1}^2}}{R} \left. \right] - \\
&- \left[-\frac{R^2\omega}{2} \times \frac{1}{\omega} \arccos\left(\frac{y_i-R}{R}\right) + \frac{R^2}{4} \times 2 \times \frac{y_i-R}{R^2} \times \sqrt{2y_iR - y_i^2} + \right. \\
&+ Rv \times \frac{1}{\omega} \arccos\left(\frac{y_i-R}{R}\right) \times \frac{y_i-R}{R} - \frac{Rv}{\omega} \times \frac{\sqrt{2y_iR - y_i^2}}{R} \left. \right] = \\
&= \left[\left(\frac{v(y_{i+1}-R)}{\omega} - \frac{R^2}{2} \right) \times \arccos\left(\frac{y_{i+1}-R}{R}\right) + \left(\frac{y_{i+1}-R}{2} - \frac{v}{\omega} \right) \times \sqrt{2y_{i+1}R - y_{i+1}^2} \right] - \\
&\left[\left(\frac{v(y_i-R)}{\omega} - \frac{R^2}{2} \right) \times \arccos\left(\frac{y_i-R}{R}\right) + \left(\frac{y_i-R}{2} - \frac{v}{\omega} \right) \times \sqrt{2y_iR - y_i^2} \right]. \tag{2.132}
\end{aligned}$$

Траектория перемещения следующего зуба, отстоящего от предыдущего на величину дуги, равную $\pi/4$, описывается уравнениями:

$$\begin{cases} x_p(t) = R \sin(\omega t) + v \left(t + \frac{\pi/2}{\omega} \right) \\ y_p = R(1 + \cos \omega t) \end{cases}, \tag{2.133}$$

где S_{Pi} – величина определенного интеграла для дуги – траектории второго зуба, отстоящего от первого на $\pi/4$, равна:

$$\begin{aligned}
S_{Pi} &= \int_{t_i}^{t_{i+1}} x_p(t) \frac{dy}{dt} dt = \int_{t_i}^{t_{i+1}} \left(R \sin \omega t + v \left(t + \frac{\pi}{2\omega} \right) \right) (-R\omega \sin \omega t) dt = \\
&= \left[-\frac{R^2\omega}{2} t + \frac{R^2}{4} \sin 2\omega t + Rvt \cos \omega t - \frac{Rv}{\omega} \sin \omega t + \frac{Rv\pi}{2\omega} \cos \omega t \right]_{t_i}^{t_{i+1}} = \\
&= \left[\left(\frac{v(y_{i+1}-R)}{\omega} - \frac{R^2}{2} \right) \times \arccos\left(\frac{y_{i+1}-R}{R}\right) + \left(\frac{y_{i+1}-R}{2} - \frac{v}{\omega} \right) \times \sqrt{2y_{i+1}R - y_{i+1}^2} + \frac{v\pi}{2\omega} (y_{i+1}-R) \right] - \\
&\left[\left(\frac{v(y_i-R)}{\omega} - \frac{R^2}{2} \right) \times \arccos\left(\frac{y_i-R}{R}\right) + \left(\frac{y_i-R}{2} - \frac{v}{\omega} \right) \times \sqrt{2y_iR - y_i^2} + \frac{v\pi}{2\omega} (y_i-R) \right]. \tag{2.134}
\end{aligned}$$

Разность между интегралами S_i и S_{Pi} равна площади поперечного сечения среза i -того слоя:

$$A_i = S_i - S_{Pi} = \frac{v\pi(y_{i+1} - y_i)}{2\omega}. \quad (2.135)$$

Подставляя (2.135) в уравнение (2.118) получим объем одного слоя компонента тепличного грунта при отделении зубом рабочего органа:

$$V = B_3 \times \frac{v\pi(y_{i+1} - y_i)}{2\omega}. \quad (2.136)$$

Для тепличного грунта, смешиваемого из n компонентов, (2.136) примет форму:

$$m = (\rho_1 V_1 + \rho_2 V_2 + \dots + \rho_n V_n) = \rho_1 B_3 \frac{v\pi(y_2 - y_1)}{2\omega} + \rho_2 B_3 \frac{v\pi(y_3 - y_2)}{2\omega} + \dots + \rho_n B_3 \frac{v\pi(y_{n+1} - y_n)}{2\omega}. \quad (2.137)$$

Таким образом, в общем случае производительность погрузчика-смесителя с рабочим органом в виде ленточного шнека с зубьями, при смешивании и погрузке тепличного грунта из n компонентов:

$$Q_n = (\rho_1 V_1 + \rho_2 V_2 + \dots + \rho_n V_n) / t = (\rho_1 B_3 \frac{v\pi(y_2 - y_1)}{2\omega} + \rho_2 B_3 \frac{v\pi(y_3 - y_2)}{2\omega} + \dots + \rho_n B_3 \frac{v\pi(y_{n+1} - y_n)}{2\omega}) z K_z / t, \quad (2.138)$$

где z – количество зубьев, одновременно выполняющих смешивание; K_z – коэффициент, учитывающий влияние количества зубьев; t – время поворота зуба через весь массив компонентов тепличного грунта, $t_g = 1/n_k$.

Через время поворота зубьев производительность связана с частотой вращения рабочего органа, аналогично выражению 2.110. Соответственно, чем выше частота вращения, тем выше производительность. С ростом высоты слоев компонентов изменяются координаты y_1, y_2, y_3 , также увеличивается время t , что приводит к росту производительности.

Масса тепличного грунта, состоящего из трех компонентов:

$$m = (\rho_1 V_1 + \rho_2 V_2 + \rho_3 V_3) = \rho_1 B_s \frac{v\pi(y_2 - y_1)}{2\omega} + \rho_2 B_s \frac{v\pi(y_3 - y_2)}{2\omega} + \rho_3 B_s \frac{v\pi(y_4 - y_3)}{2\omega}. \quad (2.139)$$

Производительность погрузчика-смесителя при работе с тепличным грунтом из трех компонентов:

$$Q_3 = (\rho_1 V_1 + \rho_2 V_2 + \dots + \rho_n V_n) / t = (\rho_1 B_s \frac{v\pi(y_2 - y_1)}{2\omega} + \rho_2 B_s \frac{v\pi(y_3 - y_2)}{2\omega} + \rho_3 B_s \frac{v\pi(y_4 - y_3)}{2\omega}) z K_z / t \quad (2.140)$$

Выражение (2.140) определяет производительность при установке зубьев по всей ширине ленточного шнека. При процессе отделения зубьями и ленточным шнеком производительность погрузчика-смесителя будет определяться суммой производительности этих процессов:

$$Q_\Sigma = Q_n + Q_\epsilon, \quad (2.141)$$

где Q_ϵ – производительность ленточного шнека. Для составляющей производительности ленточного шнека известны зависимости, обоснованные ранее проведенными исследованиями [106, 176, 288].

2.6.3 Производительность машины для удаления и погрузки грунта

Машина для удаления и погрузки тепличного грунта по принципу работы относится к машинам непрерывного действия. По способу воздействия на удаляемый грунт она относится к устройствам напорного подкапывающего воздействия. Производительность машин напорного действия зависит от плотности грунта ρ (кг/м³), скорости движения v (м/с), а также ширины захвата B (м) и высоты удаляемого слоя h (м):

$$Q_{yd} = K_{II} \cdot \rho \cdot B \cdot h \cdot v, \quad (2.142)$$

где K_{II} – коэффициент производительности, учитывающий изменение расчетной производительности в зависимости от различных эксплуатационных, конструктивных и внешних факторов.

Анализ процесса взаимодействия напорного рабочего органа предлагаемой машины позволил установить, что к значимым факторам, снижающим расчетную производительность, относятся: смещение некоторой части удаляемого слоя тепличного грунта обратно к поверхности пола теплицы; снижение скорости движения отделенных частей грунта на боковых поверхностях отвала; неполное удаление грунта, поскольку на поверхности остается часть слоя.

Таким образом, коэффициент производительности можно представить в виде:

$$K_{II} = (1 - K_{см} - K_{снс} - K_{ну}), \quad (2.143)$$

где $K_{см}$ – коэффициент, учитывающий смещение части удаляемого слоя тепличного грунта обратно к поверхности пола теплицы; $K_{снс}$ – коэффициент, учитывающий снижение скорости движения отделенных частей грунта на боковых поверхностях отвала; $K_{ну}$ – коэффициент, учитывающий неполное удаление грунта.

Смещение части удаляемого слоя тепличного грунта обратно к поверхности поля теплицы происходит вследствие работы с относительно невысоким слоем. Загрузка материала на поверхность отвала машины происходит за счет подпора основного массива грунта в теплице. А так как высота слоя невелика, то реакция поверхности ковша направленная в сторону основного слоя приводит к некоторому нагребанию и смещению частиц обратно. При этом с увеличением угла наклона ковша количество смещаемых обратно частиц увеличивается, что приводит к снижению производительности. Однако, влияние угла наклона на коэффициент, учитывающий смещение части удаляемого слоя тепличного грунта обратно к поверхности пола теплицы носит нелинейный характер. При малых углах нагребующее воздействие оказывает только передняя кромка, поверхность ковша влияет незначительно. С увеличением угла наклона более 15 градусов влияние поверхности отвала возрастает и при углах более 25 возникает значительный эффект смещения части удаляемого слоя тепличного грунта обратно к поверхности пола. Данная зависимость отражается синусоидальной функцией в квадрате. Тогда:

$$K_{см} = \sin^2 \beta. \quad (2.144)$$

Влияние на производительность коэффициента $K_{снс}$ связано с тем, что ширина рабочего органа больше ширины отгрузочного транспортера. Длина рабочих боковых поверхностей отвала больше длины рабочей поверхности ковша перед транспортером. Поэтому частицам тепличного грунта на боковых поверхностях отвала за то же время необходимо преодолеть большее расстояние, чем на ковше. Вследствие этого, происходит некоторое скапливание, что также снижает производительность.

Коэффициент $K_{снс}$ должен учитывать ширину захвата отвалов и соотношение длины боковой поверхности отвала по образующей $l_{от}$ и длины проекции боковой поверхности отвала, измеренная по направлению движения грунта $l_{\delta no}$:

$$K_{снс} = (B - 2b) \frac{l_{\delta no}}{l_{от}}, \quad (2.145)$$

где b – ширина боковой поверхности отвала, м;

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

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

Длины $l_{от}$ и $l_{\delta no}$ взаимозависимы и являются конструктивными параметрами боковой поверхности рабочего органа. Если форма боковой поверхности – часть цилиндра, а сечение криволинейный треугольник, то длину $l_{\delta no}$ необходимо задать, $l_{от}$ – определить расчетом.

При выполнении машиной технологического процесса часть тепличного грунта остается на поверхности пола теплицы. Данное явление может быть связано с неровностью пола, наличием растительных остатков и других случайных факторов, приводящих к снижению производительности. Коэффициент, учитывающий неполное удаление грунта учитывает соотношение между заданной высотой h удаляемого слоя грунта и остаточной h_p :

$$K_{ny} = h_p / h. \quad (2.146)$$

С учетом выражения (2.146) коэффициент производительности будет иметь вид:

$$K_{II} = 1 - \sin^2 \beta - (B - 2b) \frac{l_{\sigma no}}{l_{om}} - \frac{h_p}{h},$$

тогда с его учетом производительность машины может быть найдена по выражению:

$$Q_{y\delta} = (1 - \sin^2 \beta - (1 - \frac{2b}{B}) \cdot \frac{l_{\sigma no}}{l_{om}} - \frac{h_p}{h}) \rho B h v. \quad (2.147)$$

2.7 Мощность привода рабочих органов технологических машин

Для обеспечения высоких значений производительности для каждого из исследуемых процессов: укладки компонентов, смешивания и удаления грунта необходимо рассчитать значения мощности, требуемой для привода рабочих органов каждой машины.

2.7.1 Мощность привода комбинированного укладчика

Мощность, затрачиваемая на привод комбинированного укладчика, определяется как сумма мощности привода цепного транспортера ($P_{тр}$, Вт) и мощности привода первого ($P_{\delta 1}$, Вт) и второго ($P_{\delta 2}$, Вт) дозирующих барабанов:

$$P_y = P_{mp} + P_{\delta 1} + P_{\delta 2} \quad (2.148)$$

Мощность, необходимая для привода цепного транспортера:

$$P_{mp} = \Sigma F_{cy} v_c. \quad (2.149)$$

Подставим в (2.148) аналитическую зависимость (2.13) и, проведя соответствующие преобразования, получим выражения для определения мощности привода цепного транспортера:

$$\begin{aligned} P_{mp} &= (\Sigma F_{ck} + F_y) v_c = ((F_{cd} + F_{mpv} + F_{mрн} + F_u) \frac{l_{mp}}{l_{ck}} + F_y) v_c = \\ &= \{ (K_{cd} l_{ck} b_{ck} \tau_{cd} + g \rho_{ck} l_{ck} b_{ck} h_{ck} f_{вн} + g \rho_{ck} l_{ck} b_{ck} h_{кн} f_{н} + m \frac{v_c}{t}) \frac{l_{mp}}{l_{ck}} + \sigma_{ck} b_{ck} h_{ок} \} v_c \end{aligned} \quad (2.150)$$

Мощность привода дозирующих барабанов определим по выражению:

$$P_{\delta} = T_{\delta} \omega_{\delta}, \quad (2.151)$$

где T_{δ} – крутящий момент на валу дозирующего барабана (2.22), Нм; ω_{δ} – угловая скорость барабана, рад/с. Тогда с учетом выражения (2.14) мощность привода барабана:

$$P_{\delta} = 0,5z_n D_{\delta} \omega_{\delta} \left(m \frac{\omega_{\delta} R_{\delta}}{t} + f_{\text{вн}} m_{\kappa\delta} g - mg \cos \beta \right). \quad (2.152)$$

Произведя подстановку найденных слагаемых в выражение (2.148), получим выражение для определения приводной мощности комбинированного укладчика:

$$P_y = \left\{ (K_{\text{сд}} l_{\text{ск}} b_{\text{ск}} \tau_{\text{сд}} + g \rho_{\kappa} l_{\text{ск}} b_{\text{ск}} h_{\kappa} f_{\text{вн}} + g \rho_{\kappa} l_{\text{ск}} b_{\text{ск}} h_{\text{кп}} f_{\text{н}} + m \frac{v_{\text{с}}}{t}) \frac{l_{\text{мп}}}{l_{\text{ск}}} + \sigma_{\kappa} b_{\text{ск}} h_{\text{ок}} \right\} v_{\text{с}} + \\ 0,5z_{n1} D_{\delta 1} \omega_{\delta 1} \left(m_1 \frac{\omega_{\delta 1} R_{\delta 1}}{t} + f_{\text{вн}1} m_{\kappa\delta 1} g - m_1 g \cos \beta \right) + 0,5z_{n2} D_{\delta 2} \omega_{\delta 2} \left(m_2 \frac{\omega_{\delta 2} R_{\delta 2}}{t} + \right. \\ \left. f_{\text{вн}2} m_{\kappa\delta 2} g - m_2 g \cos \beta \right). \quad (2.153)$$

Индекс «1» относится к первому дозирующему барабану, индекс «2» – ко второму.

2.7.2 Мощность привода погрузчика-смесителя

Мощность привода ленточного шнека при отделении компонентов тепличного грунта зубьями зависит от усилия на зубьях и окружной скорости v_3 :

$$P_p = \sum F_3 v_3 = \frac{z_3}{4} \sigma_p b B \sin(\varphi_{\text{мп}} + \frac{\gamma}{2}) v_3, \quad (2.154)$$

где z_3 – общее количество зубьев на ленточном шнеке.

Выразим окружную скорость v_3 через длину траектории движения зуба: $v = l_3/t$, где l_3 – длина траектории движения зуба в слоях компонентов; t – время прохождения траектории l_3 .

С учетом того, что частота вращения шнекофрезерного рабочего органа составляет 50-300 об/мин, а поступательная скорость невелика (до 0,2 м/с) – с небольшим допущением можно принять траекторию движения зубьев по окружно-

сти с радиусом $0,5D_p$. Время, $t = 1/(2n)$, где n – частота вращения, об/с. Тогда мощность, затрачиваемая на отделение компонентов зубьями:

– при общей высоте массива компонентов, равной половине диаметра шнекофрезерного рабочего органа:

$$P_p = \sum F_3 v_3 = \frac{z_3}{4} \sigma_p b B \sin(\varphi_{mp} + \frac{\gamma}{2}) \frac{\pi D_p n}{8} \quad (2.155)$$

или

$$P_p = \sum F_3 v_3 = \frac{\pi z_3 D_p n}{32} \sigma_p b B \sin(\varphi_{mp} + \frac{\gamma}{2}) ; \quad (2.156)$$

– при любой высоте массива компонентов, меньшей диаметра D_p :

$$P_p = \frac{\pi z_3 D_p n}{16} \sigma_p b B \sin(\varphi_{mp} + \frac{\gamma}{2}) \frac{\theta}{180} , \quad (2.157)$$

где D_p – диаметр резания или диаметр, по которому установлены режущие зубья, м; θ – центральный угол между нижней и верхней точками, определяющими положение слоев компонентов, град. (см. рис. 2.24).

Отделенные зубьями частицы компонентов перемещаются винтовой поверхностью шнекофрезерного рабочего органа к месту перегрузки на отгрузочный транспортер. При этом происходит интенсивное перемешивание компонентов между собой. Исходной формулой для определения затрат мощности на транспортирование является выражение для перемещения груза транспортирующей машиной по горизонтали [106]:

$$P_T = g Q L K_c K_u , \quad (2.158)$$

где g – ускорение свободного падения, м/с²; Q – производительность транспортирования, кг/с; L – длина транспортирования, м; K_c – коэффициент сопротивления перемещению груза винтовой поверхностью, K_u – коэффициент, учитывающий инерцию.

Производительность транспортирования равна отношению перемещаемой массы ко времени перемещения. Перемещаемая масса равна массе компонентов, отделенных зубьями. Время перемещения $t = 1/(2n)$, где n – частота вращения ра-

бочего органа, c^{-1} . Длина транспортирования составляет половину ширины захвата рабочего органа. С учетом дополнительных сопротивлений от стоек зубьев мощность на транспортирование трехкомпонентного тепличного грунта:

$$P_T = 2gn(\rho_1 B_3 \frac{v\pi(y_2 - y_1)}{2\omega} + \rho_2 B_3 \frac{v\pi(y_3 - y_2)}{2\omega} + \rho_3 B_3 \frac{v\pi(y_4 - y_3)}{2\omega}) z K_z L K_c K_u K_{cm}, \quad (2.159)$$

где K_{cm} – коэффициент сопротивления от стоек зубьев.

Полная мощность, необходимая для привода шнекофрезерного рабочего органа погрузчика-смесителя будет равна сумме мощностей по выражениям 2.157 и 2.159.

2.7.3 Мощность привода машины для удаления и погрузки грунта

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

В соответствии с проведенным динамическим анализом, при работе машины преодолеваются сопротивления, которые можно разложить по трем осям: ОХ, ОУ, ОZ.

Сопротивление по оси ОХ будет являться сопротивлением перемещению по горизонтали. Данное сопротивление будет складываться из сопротивления R_p (2.73), сопротивления M (2.92), сопротивления P (2.105):

$$\Sigma F_x = R_p + M \cos \gamma + P. \quad (2.160)$$

Мощность, необходимая для привода по горизонтали:

$$P_{\Gamma} = \Sigma F_x v_x = (R_p + M \cos \gamma + P) v_x, \quad (2.161)$$

где v_x – скорость движения частиц грунта по горизонтали, м/с.

Сопротивление по оси ОУ является сопротивлением по вертикали. Данное сопротивление будет включать сопротивление N (2.94) с учетом массы частиц в положении III.

Мощность, необходимая для привода по вертикали:

$$P_B = \Sigma F_y v_y = N v_y ; \quad (2.162)$$

где v_y – скорость движения частиц по вертикали, м/с:

$$v_y = v_x \operatorname{tg} \gamma \quad (2.163)$$

Сопротивление по оси OZ является сопротивлением боковому смещению частиц грунта по поверхности отвала. Данное сопротивление будет включать сопротивление R_b (2.106).

Мощность, привода для преодоления сопротивлений боковому смещению:

$$P_z = \Sigma F_z v_z = R_b v_z ; \quad (2.164)$$

где v_z – скорость бокового смещения частиц по поверхности отвала, м/с:

$$v_z = v_x \operatorname{tg} \theta_{cp} , \quad (2.165)$$

где θ_{cp} – средний угол боковой поверхности отвала, град.

Суммарная мощность привода машины – сумма всех мощностей:

$$\Sigma P = P_\Gamma + P_B + P_z ; \quad (2.166)$$

$$\Sigma P = (R_p + M \cos \gamma + P) v_x + N v_y + R_b v_z . \quad (2.167)$$

Выразим входящие скорости через поступательную скорость машины v_m . Согласно рис. 2.20 и 2.22 скорость v_x равна скорости машины v_m . Тогда:

$$v_y = v_m \operatorname{tg} \gamma ; \quad (2.168)$$

$$v_z = v_m \operatorname{tg} \theta_{cp} . \quad (2.169)$$

Выражение (2.166) примет вид:

$$\Sigma P = (R_p + M \cos \gamma + P + N \operatorname{tg} \gamma + R_b \operatorname{tg} \theta_{cp}) v_m . \quad (2.170)$$

Подставляя в выражение (2.170) входящие в него величины получим развернутое выражение для суммарной мощности привода машины.

2.8. Энергоемкость

Энергоемкость технологического процесса при использовании тепличного грунта E (Дж/кг) – это работа на выполнение операции или суммы всех операций, приходящаяся на единицу его массы.

В общем случае энергоемкость определяется по выражению:

$$E = \frac{P}{Q}, \quad (2.171)$$

где P – суммарная мощность привода, Вт; Q – производительность, кг/с.

Ранее были найдены выражения для мощности и производительности каждой из машин, следовательно, используя формулу (2.171), могут быть получены математические модели энергоемкости каждого из исследуемых процессов.

Энергоемкость укладки компонентов тепличного грунта комбинированным укладчиком E_y (Дж/кг):

$$E_y = \frac{\left[\left\{ (K_{c0} l_{ck} b_{ck} \tau_{c0} + g \rho_{\kappa} l_{ck} b_{ck} h_{\kappa} f_{вн} + g \rho_{\kappa} l_{ck} b_{ck} h_{\kappa n} f_{н} + m \frac{v_c}{t}) \frac{l_{mp}}{l_{ck}} + \sigma_{\kappa} b_{ck} h_{ок} \right\} v_c + \right. \\ \left. 0,5 z_{n1} D_{\delta 1} \omega_{\delta 1} \left(m_1 \frac{\omega_{\delta 1} R_{q1}}{t} + f_{вн1} m_{\kappa \delta 1} g - m_1 g \cos \beta \right) + \right. \\ \left. 0,5 z_{n2} D_{\delta 2} \omega_{\delta 2} \left(m_2 \frac{\omega_{\delta 2} R_{q2}}{t} + f_{вн2} m_{\kappa \delta 2} g - m_2 g \cos \beta \right) \right]}{\left[K_3 b_{ck} h_{ck} \rho_{\kappa} v_c + \frac{\rho_{\kappa 1} K_{31} \alpha_{n1} B_{n1} z_{n1} n_{\kappa 1} (D_{n1}^2 - D_{в1}^2)}{8} + \frac{\rho_{\kappa 2} K_{32} \alpha_{n2} B_{n2} z_{n2} n_{\kappa 2} (D_{n2}^2 - D_{в2}^2)}{8} \right]}. \quad (2.172)$$

Энергоемкость смешивания компонентов и погрузки готового тепличного грунта E_{nc} (Дж/кг):

$$E_{nc} = \frac{\left[\frac{\pi z_3 D_p n}{16} \sigma_p b B_3 \sin(\varphi_{mp} + \frac{\gamma}{2}) \frac{\theta}{180} + 2gn(\rho_1 B_3 \frac{V\pi(y_2 - y_1)}{2\omega} + \rho_2 B_3 \frac{V\pi(y_3 - y_2)}{2\omega} + \right. \\ \left. \rho_3 B_3 \frac{V\pi(y_4 - y_3)}{2\omega}) z K_z L K_c K_u K_{cm} \right]}{\left[2n(\rho_1 B_3 \frac{v\pi(y_2 - y_1)}{2\omega} + \rho_2 B_3 \frac{v\pi(y_3 - y_2)}{2\omega} + \rho_3 B_3 \frac{v\pi(y_4 - y_3)}{2\omega}) z K_z \right]}. \quad (2.173)$$

Энергоемкость удаления слоя тепличного грунта предлагаемой машиной $E_{уд}$ (Дж/кг) после подстановки и соответствующих преобразований примет вид:

$$E_{уд} = \frac{(R_p + M \cos \gamma + P + Ntg\gamma + R_b tg\theta_{cp})v_m}{(1 - \sin^2 \beta - (1 - \frac{2b}{B}) \cdot \frac{l_{ono}}{l_{om}} - \frac{h_p}{h})\rho} . \quad (2.174)$$

Размерность полученных выражений соответствует размерности энергоемкости – Дж/кг.

На основании анализа математических моделей 2.172; 2.173; 2.174, и при использовании численных методов исследований получены рациональные значения энергоемкости для укладки компонентов тепличного грунта комбинированным укладчиком 235 Дж/кг; смешивания компонентов и погрузки тепличного грунта погрузчиком-смесителем 170 Дж/кг; процесса удаления тепличного грунта предложенной машиной 510 Дж/кг.

2.9 Выводы

1. На основе сформулированной научной гипотезы разработана новая технологическая схема подготовки, использования и удаления тепличного грунта, а также новые конструктивно-технологические схемы машин для ее осуществления: комбинированный укладчик (патент на полезную модель №211840), погрузчик-смеситель (патент на полезную модель №119337) оснащенный шнекофрезерным рабочим органом (патент на полезную модель № 117906) с зубьями специальной формы, машина для удаления и погрузки слоя грунта после использования (патент на изобретение № 211840), адаптированные к физико-механическим свойствам компонентов тепличного грунта и обеспечивающие ресурсо- и энергосбережение.

2. Проведенное кинематическое и динамическое исследование процесса взаимодействия рабочих органов с тепличным грунтом и его компонентами, позволили получить аналитические зависимости для силовых и качественных критериев. На процесс взаимодействия с тепличным грунтом оказывают основное влия-

яние состав и физико-механические свойства его компонентов, конструктивные параметры рабочих элементов, угловая и поступательная скорости относительно и переносного движения.

3. Мощность, необходимая для привода разработанных машин, прямо пропорционально зависит от ширины захвата рабочего органа, его диаметра, поступательной и угловой скорости, плотности тепличного грунта, его сопротивления деформациям и коэффициентов трения о рабочие поверхности. Влияние диаметра рабочего органа характеризуется степенной функцией.

4. Производительность для рабочих органов с вращательным движением связана с режимными параметрами и диаметром рабочего органа степенной функцией, для рабочих органов с поступательным движением зависимость от конструктивных и режимных параметров в рабочем диапазоне их значений является прямо пропорциональной. Влияние плотности компонентов тепличного грунта на изменение производительности также прямо пропорциональное.

5. Математические модели энергоемкости взаимодействия рабочих органов предложенных машин с тепличным грунтом характеризуют влияние всех конструктивных, режимных параметров и физико-механических свойств. Влияние указанных факторов на энергоемкость носит не линейный характер и описывается многочленом второго порядка. Анализ полученных результатов позволяет определять рациональные значения конструктивных и режимных параметров, при которых энергоемкость исследуемых процессов минимальна.

ГЛАВА 3

ПРОГРАММА И МЕТОДЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

3.1 Постановка задач экспериментальных исследований

Экспериментальные исследования проводились для определения физико-механических и технологических свойств тепличного грунта и его составляющих компонентов; экспериментального исследования взаимодействия рабочих органов предлагаемых машин с тепличным грунтом и его компонентами и исследования влияния факторов на критерии оптимизации, обоснованных в программе исследований.

Исследования выполнялись для каждого опытного образца исследуемых технологических процессов: комбинированного укладчика, погрузчика-смесителя, машины для удаления тепличного грунта. Программа исследований состояла из двух блоков. Первый – лабораторно-полевые исследования, а второй – исследования в производственных условиях.

Цель экспериментальных исследований состояла в следующем:

- исследование физико-механических и технологических свойств тепличного грунта и компонентов, входящих в его состав; определение значений коэффициентов трения и сопротивления различным видам деформаций;
- получение уравнений регрессии и графических зависимостей, показывающих влияние конструктивно-режимных параметров рабочих органов на силовые критерии взаимодействия с тепличным грунтом, производительность, приводную мощность и энергоемкость технологических процессов приготовления и использования тепличного грунта;
- определение рациональных значений конструктивно-режимных параметров, соответствующих наибольшей производительности и минимальной энергоемкости выполнения технологических процессов;

- получение качественных параметров тепличного грунта: качества смешивания, воздухоёмкости, влагоемкости;
- проверка соответствия результатов экспериментальных исследований полученным аналитическим зависимостям и математическим моделям процессов взаимодействия рабочих органов с тепличным грунтом и его компонентами;
- проверка в производственных условиях эффективности работы предлагаемых технологических машин для работы с тепличным грунтом и их рабочих органов.

Программа экспериментальных исследований включала:

- исследование физико-механических и технологических свойств готового тепличного грунта, состоящего из различных компонентов;
- исследование конструктивных параметров и режимов работы рабочих органов комбинированного укладчика – цепного транспортера и дозирующих барабанов, а также определение оптимальных значений этих параметров;
- исследование конструктивных параметров и режимов работы рабочего органа погрузчика-смесителя, оснащенного режущими зубьями специальной формы, а также определение оптимальных значений этих параметров;
- исследование конструктивных параметров и режимов работы рабочих органов машины для удаления грунта – отвала и отгрузочного транспортера, а также определение оптимальных значений этих параметров;
- обработка результатов экспериментов и получение уравнений регрессии;
- сравнение результатов обработки экспериментальных данных с теоретическими положениями.

Для проведения экспериментальных исследований были использованы методы физического и математического моделирования [26,64, 65, 176], теория планирования эксперимента и теория подобия [47, 135, 141, 227, 258,260], а также методы, связанные с особенностями работы технологических машин для приготовления и использования тепличного грунта [58, 62, 63,130].

3.2 Методы исследования физико-механических свойств тепличного грунта и его компонентов

Тепличный грунт состоит из компонентов, которые существенно различаются по своим физико-механическим свойствам, например, перепревший навоз, песок, опилки, торф, дерновая земля и другие. При смешивании указанных материалов образуется тепличный грунт, физико-механические свойства которого варьируются в зависимости от количества того или иного компонента. К основным свойствам можно отнести: плотность, сопротивление разрыву, сдвигу, сжатию, резанию, коэффициенты внешнего и внутреннего трения.

Изучение выше перечисленных свойств основывалось на широко известных методах [58, 59, 62, 63]. Однако, для ряда показателей отсутствуют распространенные и общепринятые методы определения, поэтому дорабатывались имеющиеся, а в отдельных случаях, предлагались новые методики.

Для расчёта параметров рабочих органов предлагаемых машин большое значение имеет свойство грунта или его компонентов сопротивляться деформациям, а именно сопротивление сжатию и сдвигу.

Сопротивление тепличного грунта сжатию – сопротивление разрушению под действием сжимающей силы. При этом разрушение происходит от места контакта с рабочим органом, создающим сжатие, в виде трещин располагающихся в случайном порядке по местам наименьшего сцепления частиц грунта. Сопротивление тепличного грунта сдвигу – сопротивление силе смещающей одну часть грунта относительно другой.

Сопротивление сдвигу зависит от нормального давления, т.е. распределенной от силы действующей перпендикулярно плоскости сдвига. Сдвигающая сила имеет касательное направление к плоскости сдвига и сопротивление грунта этой силе и является сопротивлением деформации сдвига. Анализ существующих исследований показывает, что по основным компонентам тепличного грунта сведений недостаточно (табл. 3.1).

Таблица 3.1 – Сопротивление деформациям и другие физико - механические свойства тепличного грунта и его компонентов

Название компонентов тепличного грунта	Плотность, т/м ³	Коэффициент трения в покое	Коэффициент трения в движении*	Сопротивление деформации сжатия, Па	Сопротивление деформации сдвига, Па
навоз	0,7-0,9	0,7-1,3	0,8-1,2	-	750-5100
торф	0,5-0,6	0,6-0,7	0,66-0,88	-	-
чернозем	1,7	0,4-0,9	0,25-0,8	-	-
опилки	0,2-0,3	0,8	0,3-0,6	-	-

* Измерение по стали.

Для проведения исследований тепличного грунта на сопротивление деформации сдвига было собрано специальное устройство (рисунок 3.1), состоящее из опорной плоскости, неподвижного корпуса, подвижного корпуса, нагрузочной пластины, создающей нормальную силу, и прибора фиксирующего смещение силовой системы, создающей касательную силу сдвига подвижного корпуса относительно неподвижного.

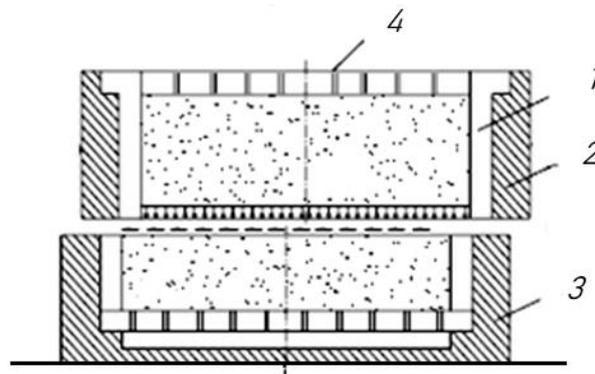


Рис. 3.1 Принципиальная схема устройства: 1 – рабочая пластина; 2 – подвижная обойма; 3 – неподвижная обойма; 4 – перфорированный штамп

В разработанном устройстве тепличный грунт подвергается воздействию возрастающей горизонтальной касательной силы, при которой происходит, не только разрушение связей части тепличного грунта находящейся в подвижном корпусе от остального массива деформацией сдвига, но и скольжение по вновь образующейся поверхности при действующей нормальной силе. Нормально дей-

ствующая сила создается весом самого грунта и весом нагрузочной пластины и имеет распределенный характер. Поэтому для определения напряжений изгиба используем выражение:

$$\tau = \tau_0 + pf_{вн}, \quad (3.1)$$

где τ_0 – сцепление между частицами тепличного грунта в состоянии покоя, Па; p – распределенная по площади нормальная сила, Н/мм²; $f_{вн}$ – коэффициент внутреннего трения [58].

Как и на другие виды сопротивления деформации, на напряжения сдвига груза оказывают большое влияние физико-механические свойства, которые в случае с типичным грунтом особенно зависят от сроков и условий хранения исходных компонентов и качества смешивания. Согласно выражению 3.1 зависимость τ от нормального давления носит линейный характер, что подтверждается результатами экспериментальных исследований.

3.3 Методы исследования технологических свойств тепличного грунта

Критерии эффективности технологических машин для работы с тепличным грунтом для различных технологических операций также различны. Наряду с производительностью и энергоемкостью необходимо оценивать качество выполнения технологической операции. Для укладки компонентов тепличного грунта необходимо оценивать объемное или массовое соотношение каждого компонента. Для процесса смешивания важнейшее значение имеет равномерное распределение компонентов в полученном готовом тепличном грунте.

Оценку неравномерности укладки компонентов тепличного грунта комбинированным укладчиком наиболее просто и точно проводить измерением неравномерности высоты уложенного слоя. Поскольку другие геометрические параметры: ширина захвата, длина укладки равны для всех компонентов, то высота слоя будет отражать объемное соотношение компонентов в укладке. Исследуя влияние параметров рабочих органов комбинированного укладчика на высоту слоя можно определить их рациональные значения.

Для исследований выбрана ранее указанная трехкомпонентная смесь: чернозем, навоз, опилки. Исходя из оптимального соотношения компонентов тепличного грунта 1:0,25:0,25 и необходимой толщины основного слоя, равной 16 сантиметрам, для навоза и опилок толщина слоев будет составлять по 4 сантиметра.

Качество укладки характеризуется постоянной высотой уложенного слоя по всей площади укладки. Последовательность проведения эксперимента включала замеры высоты каждого слоя штангенциркулем через 0,5 м длины укладки. Для замера после каждого прохода комбинированным укладчиком выполнялась одинаковая выемка уложенных компонентов грунта.

Контрольные срезы производят в один ряд параллельно направлению движения технического средства, осуществляющего укладку компонента, при этом расстояние в ряду между срезами не должно превышать 1 м (рисунок 3.2).

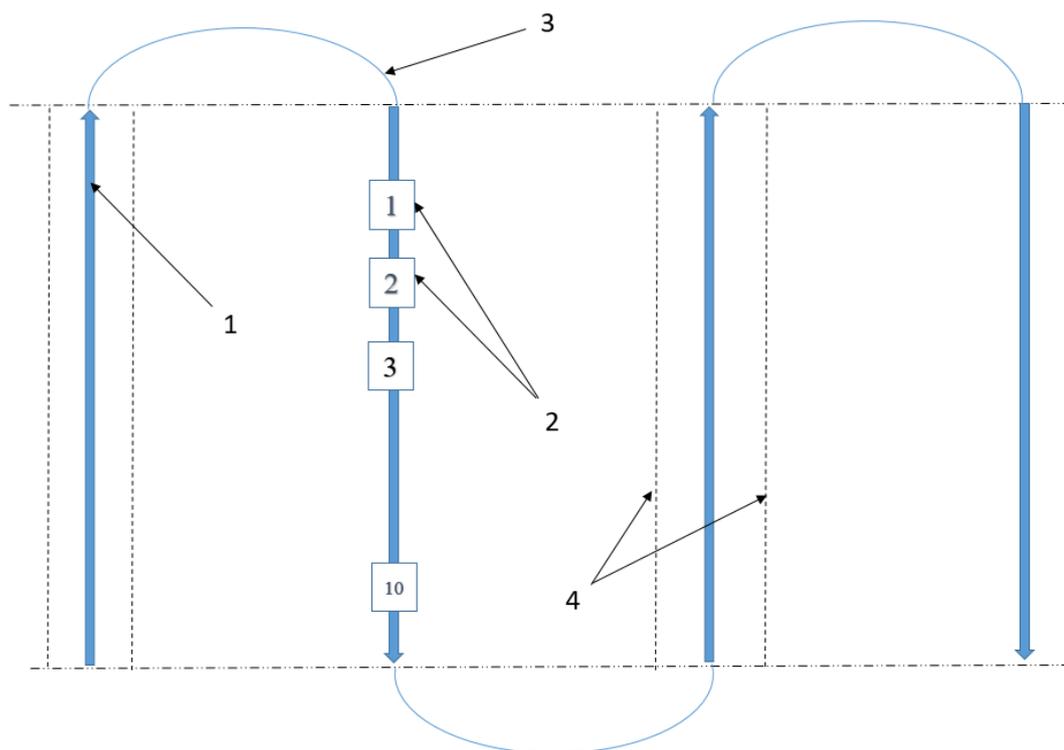


Рисунок 3.2 – Схема размещения мест контрольных срезов уложенных компонентов тепличного грунта: 1 – траектории движения агрегата; 2 – места срезов; 3 – направление движения агрегата при развороте; 4 – колея, оставляемая колесами агрегата

Для репрезентативности результатов качества укладки необходимо провести не менее четырех проходов машины челночным способом, при этом траекторию движения помечают кольями, которые устанавливают через 3-5 метров в два ряда (рисунки 3.3 и 3.4.).



Рисунок 3.3 – Взятие проб для замеров после послойной укладки компонентов тепличного грунта

Качество укладки оценивали по среднеквадратичному отклонению. Среднее значение толщины каждого слоя определяли по отношению суммы всех значений толщины в разных участках к количеству срезов:

$$\bar{X} = \sum_{i=1}^n x_i / n, \quad (3.2)$$

где x_i – значения толщины в разных участках, n – количество срезов.

Затем определяли значение среднеквадратичного отклонения:

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{X})^2}{n-1}} \quad (3.3)$$



Рисунок 3.4 – Общий вид послойно уложенных компонентов тепличного грунта

Для оценки пригодности готового тепличного грунта к выращиванию растений в теплице использовали параметр – качество смешивания – определяемое коэффициентом качества смешивания K , показывающим равномерность содержания каждого компонента в различных точках смеси (для грунта, отвечающего всем агрофизическим требованиям значение K больше 0,94). Очевидно, что зависимость коэффициента K прямо пропорциональна интенсивности перемешивания рабочими органами машины исходных компонентов. При недостаточном перемешивании ($K < 0,94$) нарушается корневое питание растений, рост и развитие замедляется, падает урожайность.

Задача по определению качества смешивания актуальна для многих отраслей народного хозяйства, где существует различное число методик ее определения, например, в химической промышленности – качество смешивания исходных компонентов является важнейшим технологическим параметром.

Однородной считается смесь, в которой содержание компонентов в любой части ее объема соответствует заданному составу смеси [46]. Экспериментально установлено, что если какой-либо компонент распределен в смеси равномерно, то

и другие компоненты распределены равномерно. О гомогенности многокомпонентной смеси можно судить по равномерности распределения в ней одного-двух ключевых компонентов. Поэтому в процессе экспериментального определения коэффициента смешивания тепличного грунта выделяют хорошо визуально различимый ключевой компонент: опилки, минеральные удобрения, песок и т.п.

Метод определения качества смешивания тепличного грунта заключается в отборе определенного количества проб после прохождения машины и дальнейшей обработке полученных результатов. В экспериментах ключевым компонентом выступали древесные опилки и лужга семечек подсолнуха. Каждую пробу грунта взвешивали, а затем из каждой пробы отделяли ключевой компонент и взвешивали его массу уже отдельно. Отношение массы ключевого компонента в пробе к массе всей пробы грунта определяет значение коэффициента практического равномерного распределения, $K_{\text{п}}$.

Значение коэффициента теоретического равномерного распределения по всему объему смеси определяется как:

$$K_{\text{т}} = M_{\text{к}}/M, \quad (3.4)$$

где $M_{\text{к}}$ – масса ключевого компонента, вносимого в смесь, кг; M – полная масса смеси, кг.

Далее определяется разница между практическим и теоретическим значениями в каждой точке замера и вычисляется коэффициент вариации $K_{\text{в}}$.

Коэффициент качества смешивания K показывает количественное содержание «ключевого компонента» в различных точках готовой смеси по отношению к возможному содержанию при теоретическом распределении $K_{\text{т}}$, т.е.

$$K = 1 - K_{\text{в}} \quad (3.5)$$

Для нормального роста и развития растений тепличный грунт должен иметь приемлемые значения технологических параметров, от которых напрямую зависит процесс корневого питания растений: влагоёмкость и воздухоёмкость.

Влагоёмкость (W_1 , %) – характеризует способность грунта (почвы) вмещать и удерживать максимальное количество воды, которая обусловлена структурными особенностями грунта (количество и размер почвенных пор). Численно

величина влагоемкости выражается в количественных показателях (в долях единицы или в процентах от веса абсолютно сухого грунта) [250].

Значение влагоёмкость зависит от гранулометрического состава компонентов, входящих в состав тепличного грунта и содержания органической составляющей: перегноя, опилок, торфа и других, обладающих большой влагоудерживающей способностью. Например, отдельные виды торфа способны удерживать воды в 30 раз больше своего веса в сухом состоянии, а песок – наоборот, имеет относительно низкую влагоёмкость, поскольку большая часть попадающей на него воды не задерживается, а проходит насквозь. Оптимальное значение влагоемкости для тепличного грунта составляет не менее 40%.

Воздухоёмкость (W_2 , %) – объем почвенных пор, содержащих воздух при влажности тепличного грунта, соответствующей наименьшей его влагоемкости. В общем случае может быть найдена как разность: $W_2 = P - W_1$, где P – общая пористость тепличного грунта, %; W_1 – влагоёмкость тепличного грунта, %.

Воздухоёмкость характеризует количественный состав почвенного воздуха в тепличном грунте и зависит от многих факторов: влажности, гранулометрического состава и т.д. исходных компонентов, содержание воздуха при этом выражают в процентах от объема почвы. Структурный грунт, в состав которого входят рыхлящие материалы обладает более высокой воздухоёмкостью, чем бесструктурный. Оптимальные условия для газообмена создаются при содержании воздуха в тепличных грунтах не менее 25 %. [43].

В виду технической сложности определения значений влагоемкости и воздухоёмкости, а также отсутствия для этих целей специализированного оборудования, определение данных показателей осуществлялось специалистами сертифицированной лаборатории тепличного комбината АО «Совхоз-Весна» Саратовской области (приложение К).

Отбор проб полученного тепличного грунта производился после завершения каждого опыта (рисунок 3.5), при этом количество отобранных проб соответствовало необходимой надежности результатов. [135].



Рисунок 3.5 – Отобранные и пронумерованные пробы тепличного грунта для определения их физико-механических и технологических свойств

3.4 Описание экспериментальных образцов технологических машин

Для проведения полевых исследований были изготовлены опытные образцы исследуемых машин. Прицепная машина для удаления тепличного грунта была собрана на производственной базе АО «Совхоз Весна» (г. Саратов). Погрузчик-смеситель и комбинированный укладчик изготовлены на производстве ООО «МК АС Трейд» (г. Саратов).

3.4.1 Комбинированный укладчик компонентов тепличного грунта

Процесс послойной укладки компонентов тепличного грунта исследовался на опытном образце комбинированного укладчика, выполненного с учетом ранее обоснованной конструкцией и техническими параметрами.

Комбинированный укладчик компонентов грунта содержит установленный на колесный ход кузов, разделенный на три изолированных бункера, прикрепленную к днищу кузова направляющую пластину (рисунок 3.6). В переднем бункере установлен цепной транспортер, в среднем и заднем бункерах установлены выгрузные устройства, содержащие установленные на подшипниках дозирующие барабаны. Для крепления к движителю в передней части кузова расположена

сцепка. На передней стенке кузова установлен гидромотор, который через цепную передачу приводит в движение звездочку ведущего вала цепного транспортера. Цепной транспортер имеет шаг скребков в диапазоне 0,35-0,37 м.

Конструкция содержит также размещенную в переднем бункере регулирующую относительно днища ограничивающую заслонку. Вращение к барабанам передается с ведомого вала, отсекатели в среднем и заднем бункерах могут изменять положение относительно днища кузова. Каждые дозирующие барабаны снабжены шестью продольными пластинами. Конструкция комбинированного укладчика позволяет повысить качество укладки компонентов грунта и увеличить интенсивность их выгрузки.



Рисунок 3.6 – Общий вид комбинированного укладчика

Работает комбинированный укладчик следующим образом. После загрузки компонентов в бункеры, включается гидромотор, усилие от которого, через редуктор передается на звезду вала цепного транспортёра, приводящего в движение скребки транспортёра в переднем бункере (рисунок 3.7). Скребки отделяют часть компонента и сдвигают его к выгрузному окну, размер которого может регулироваться ограничивающей заслонкой, и далее по направляющей пластине поступают на поверхность площадки для смешивания.

Одновременно с этим вращение передается на ведомые валы дозирующих барабанов, расположенных в среднем и заднем бункерах (рисунок 3.5). Каждый дозирующий барабан снабжен продольными пластинами. Шесть пластин установлены вдоль поверхности дозирующего барабана, в диаметральной сечении через 60 градусов, чем обеспечивается равномерная подача компонентов и равномерная укладка компонента.

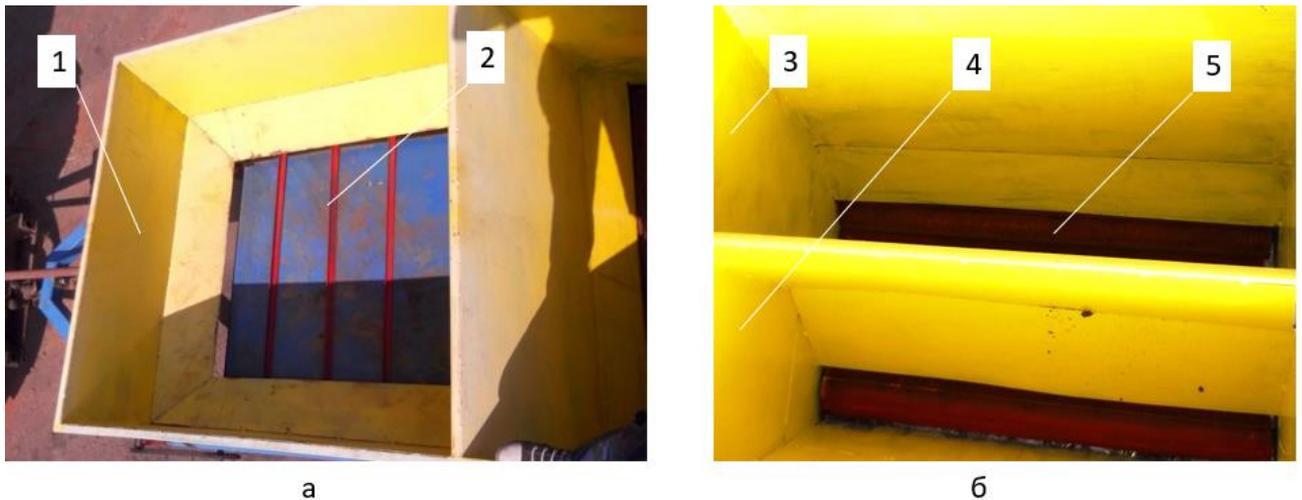


Рисунок 3.7 – Общий вид рабочих органов комбинированного укладчика: а – цепной транспортёр, б – дозирующие барабаны; 1 – передний бункер, 2– цепной транспортёр со скребками, 3 – средний бункер, 4 – задний бункер, 5 – дозирующий барабан с планками

Размещение в переднем бункере направляющей пластины позволяет равномерно распределить компонент по поверхности площадки и уменьшить уплотнение.

В среднем и заднем бункерах компоненты проходят через отсекатели, положение которых может регулироваться, и, таким образом, происходят изменения интенсивности выгрузки. После прохождения отсекателей компоненты попадают на продольные пластины барабанов, обеспечивающие их равномерную укладку на поверхность площадки.

Таким образом, послойно уложенные компоненты тепличного грунта готовы к смешиванию и погрузке в транспортное средство.

3.4.2 Погрузчик-смеситель тепличного грунта

Для исследования процесса смешивания и погрузки тепличного грунта был изготовлен опытный образец погрузчика-смесителя в соответствии с ранее обоснованной конструкцией и параметрами.

Погрузчик-смеситель (рисунок 3.8) состоит из рамы, на которой установлен шнекофрезерный рабочий орган и ленточно-планчатый транспортер. Погрузчик соединен посредством механизма навески с малогабаритным гусеничным трактором, а также имеет дополнительную опору – колесо. Привод рабочего органа осуществляется от вала отбора мощности через конический редуктор (соединен с валом отбора мощности трактора через карданную передачу) и цепную передачу, а привод транспортера осуществляется от гидромотора.

Шнекофрезерный рабочий орган (рисунок 3.9) представляет собой вал 2 с установленными на нем винтовыми лопастями 3 поддерживаемыми прутками 4, а также режущими зубьями 5, установленными в основание 7 на стойках с регулируемой высотой.



Рисунок 3.8 – Общий вид погрузчика-смесителя тепличного грунта



Рисунок 3.9 – Общий вид шнекофрезерного рабочего органа погрузчика смесителя: 1 – цапфа приводная; 2 – вал; 3 – винтовая лопасть; 4 – пруток; 5 – зуб со стойкой; 6 – штифт; 7 – основание; 8 – цапфа; 9 – лопасть укороченная

Работа погрузчика-смесителя осуществляется следующим образом. При включении вала отбора мощности и гидромотора приводятся в движение шнекофрезерный рабочий орган и отгрузочный транспортер, затем при движении трактора задним ходом рабочий орган внедряется в борт послойно уложенных компонентов тепличного грунта.

Зубьями компоненты отделяются от массива, крошатся и винтовой поверхностью шнека перемещаются на отгрузочный транспортёр, который захватывая их скребками, перемещает в кузов транспортного средства. Одновременное воздействие винтовых лопастей и зубьев приводит к повышению интенсивности процесса перемешивания.

Далее готовый грунт доставляется в теплицу для следующей операции – укладки на поверхности помещения теплицы. Данная операция не требует использования специальных технических средств, и как правило, выполняется с использованием малогабаритной бульдозерной навески. После завершения циклов выращивания растений возникает потребность в полном или частичном (только верхнего слоя) удалении грунта.

3.4.3. Прицепная машина для удаления и погрузки тепличного грунта

Исследования процесса удаления отработанного тепличного грунта проводились на опытном образце машины (рисунок 3.10) также в соответствии с ранее разработанной конструкционно-технологической схемой и теоретически обоснованными параметрами.

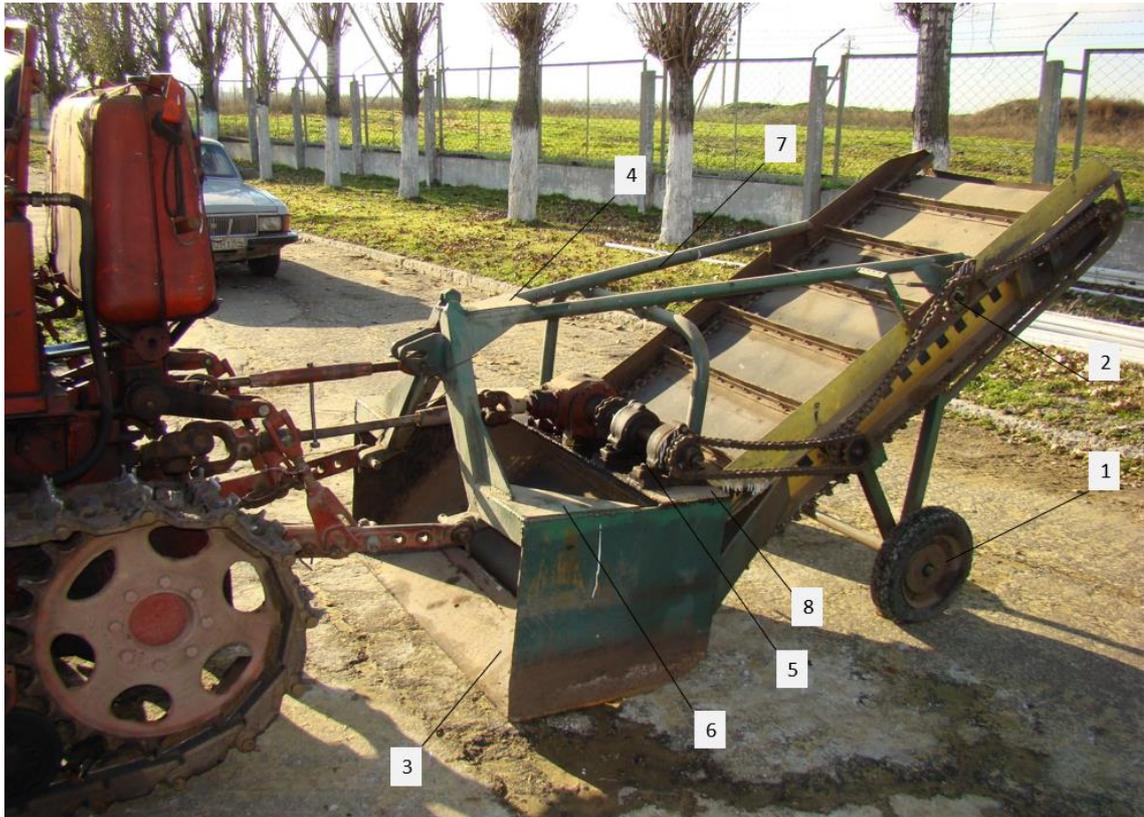


Рисунок 3.10 – Общий вид прицепной машины для удаления и погрузки тепличного грунта: 1 – несущая рама, 2 – отгрузочный транспортер, 3 – ковш, 4 – механизм навески, 5 – механизм привода, 6 – нижние тяги, 7 – верхние тяги, 8 – верхняя стенка ковша

Особенность конструкции машины является то, что механизм навески расположен в передней части машины, а механизм привода транспортёра на верхней стенке ковша, что позволяет уменьшить габариты машины и сделать ее более маневренной в ограниченном пространстве теплиц. За задней частью нижней кромки ковша установлен отгрузочный транспортер, что обеспечивает практически без потерь сход грунта с отвала ковша и попадание его на планки транспортера.

Работает прицепная машина для удаления и погрузки грунта в теплицах следующим образом. При движении трактора тяговое усилие передается посредством сцепки на несущую раму машины, что обеспечивает внедрение ковша в слой грунта. Грунт скользит по отвалу ковша и попадает на отгрузочный транспортер приводимый в движение от вала отбора мощности, и далее, перемещается в кузов транспортного средства и вывозится за пределы теплицы.

3.5. Программа и методы экспериментальных исследований

Программа исследований, ранее описанных экспериментальных образцов основывалась на теории планирования эксперимента [135, 227, 258, 260] и включала основные эксперименты, выполняемые по двухфакторному плану и дополнительные, выполняемые как однофакторные эксперименты, – в целях исследования отдельных параметров, требующих отдельного изучения для получения достоверного результата. Для комбинированного укладчика таким параметром является качество укладки, определяемое значением среднеквадратичного отклонения высоты укладываемого слоя компонента тепличного грунта (таблица 3.2).

Таблица 3.2 – Факторы и критерии оптимизации при проведении однофакторного эксперимента по оценке качества укладки комбинированным укладчиком

Уровни варьирования	Варьируемые факторы			Критерий оптимизации
	1	2		
	количество скребков цепного транспортера, шт.	количество планок первого барабана, шт.	количество планок первого барабана, шт.	Среднеквадратичное отклонение
	Интервал варьирования, Δ			
	2,0	2,0	2,0	
1	2	2	2	S
2	4	4	4	
3	6	6	6	
4	8	8	8	

Однофакторными экспериментами также исследовалось влияние формы режущих зубьев рабочего органа погрузчика-смесителя на качественные показатели приготавливаемой смеси компонентов тепличного грунта (таблица 3.3).

Таблица 3.3 – Факторы и критерии оптимизации при проведении однофакторного эксперимента по установлению влияния формы зубьев погрузчика-смесителя

Варьируемые факторы	Критерий оптимизации			
	производительность, кг/с	коэффициент качества смешивания	влагоёмкость, %	воздухоёмкость, %
Форма зуба	Q	K	W ₁	W ₂
плоская, с углом наклона к оси стойке (радиусу рабочего органа) 90 градусов				
криволинейная, в виде сектора цилиндрической поверхности				
плоская, с углом наклона к оси стойки 70 градусов				

Серией предварительных экспериментов установлено, что наибольшее влияние на технологические показатели грунта оказывают режущие зубья трех форм (рисунок 3.11). Форма зубьев задавалась их поочередной сменой на рабочем органе погрузчика-смесителя, а возможность крепления зубьев с помощью штифтов, позволяли менять высоту установки зубьев. Исследования проводились при поступательной скорости 0,05 м/с, диаметре рабочего органа 0,65 м, частоте вращения $n = 300$ (об/мин) и количестве зубьев $z = 27$.

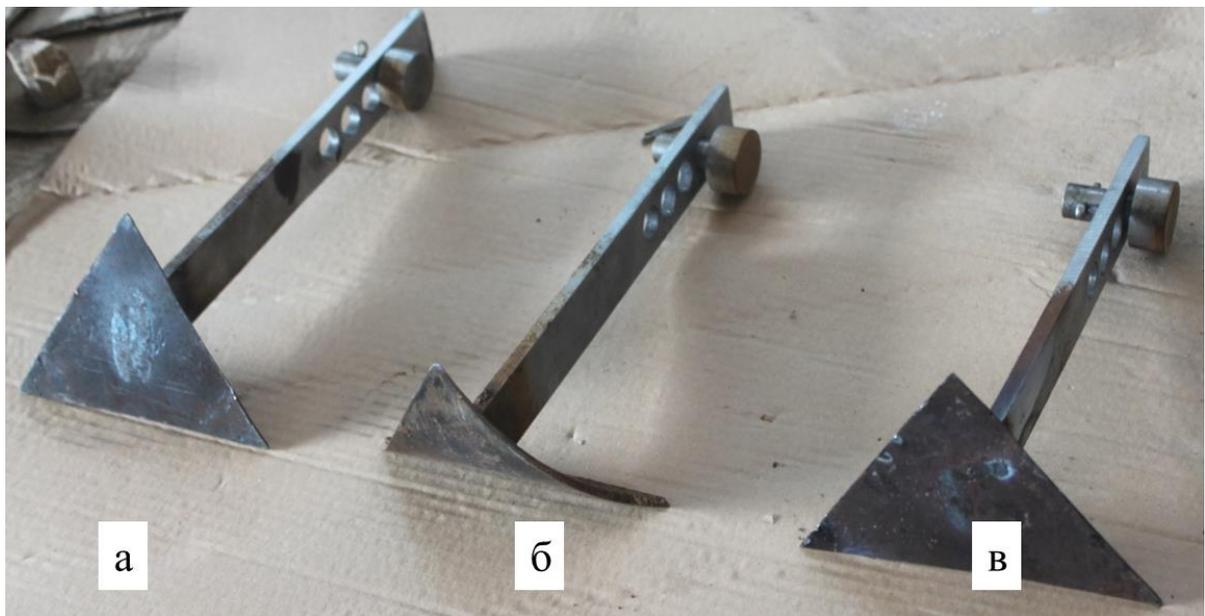


Рисунок 3.11 – Общий вид зубьев исследуемых форм: а – треугольная, плоская, установленная под углом наклона к радиусу шнека 90 градусов; б – криволинейная в виде сектора цилиндрической поверхности (сферический треугольник); в – треугольная, установленная под углом наклона к радиусу шнека 70 градусов

Процесс функционирования машины находится в сложной зависимости от ряда факторов, каждый из которых влияет на эффективность работы машины – критерии оптимизации. На основании поисковыми и теоретических исследований в качестве критериев оптимизации были определены: производительность Q (кг/с); мощность, необходимая для привода машины P (Вт); энергоемкость E (Дж/кг); крутящий момент на приводном валу рабочего органа T (Нм). Для прицепной машины для удаления грунта вместо крутящего момента исследовалось значения усилие затрачиваемого на перемещение машины F (Н).

При проведении исследований невозможно установить влияние всех факторов на процесс и их взаимодействия между собой. Поисковыми исследованиями проведено ранжирование факторов, на основании которого установлено, что наибольшее влияние на критерии оптимизации для каждой из машин оказывают следующие конструктивные и режимные параметры.

Для комбинированного укладчика – это частота вращения и количество планок дозирующего барабана; поступательная скорость цепи и количество скребков цепного транспортера. Для погрузчика-смесителя – угловая скорость вращения шнекофрезерного рабочего органа, количество установленных на нем зубьев и поступательной скорости машины. Для прицепной машины для удаления и погрузки грунта – поступательная скорость машины, угол наклона рабочей поверхности отвала и высота слоя удаляемого грунта.

В таблице 3.4 представлен план двухфакторного эксперимента по исследованию параметров дозирующих барабанов комбинированного укладчика.

В экспериментальных исследованиях скорость комбинированного укладчика была постоянно равной 0,08 м/с. Угловая скорость дозирующих барабанов (фактор А) имела четыре значения, которые задавалась различным размером звездочек, поочередно устанавливаемых на ведущем и ведомом валах дозирующих барабанов и на ведомом валу транспортера. Количество продольных планок (фактор В) и количество скребков также изменялось по четырем значениям и задавалась установкой нужного их количества (таблица 3.2).

Таблица 3.4 – Двухфакторный план эксперимента для исследования комбинированного укладчика

Номер опыта	Уровень факторов				Критерии оптимизации			
	А угловая скорость		В число планок		крутящий момент на валу барабана, Нм Т	мощность на валу барабана, Вт Р	производительность кг/с Q	энергоёмкость, Дж/кг Е
	№	рад/с	№	шт.				
1	1	2	1	2	T ₁	P ₁	Q ₁	E ₁
2	1	2	2	4	T ₂	P ₂	Q ₂	E ₂
3	1	2	3	6	T ₃	P ₃	Q ₃	E ₃
4	1	2	4	8	T ₄	P ₄	Q ₄	E ₄
5	2	4	1	2	T ₅	P ₅	Q ₅	E ₅
6	2	4	2	4	T ₆	P ₆	Q ₆	E ₆
7	2	4	3	6	T ₇	P ₇	Q ₇	E ₇
8	2	4	4	8	T ₈	P ₈	Q ₈	E ₈
9	3	6	1	2	T ₉	P ₉	Q ₉	E ₉
10	3	6	2	4	T ₁₀	P ₁₀	Q ₁₀	E ₁₀
11	3	6	3	6	T ₁₁	P ₁₁	Q ₁₁	E ₁₁
12	4	6	4	8	T ₁₂	P ₁₂	Q ₁₂	E ₁₂
13	4	8	1	2	T ₁₃	P ₁₃	Q ₁₃	E ₁₃
14	4	8	2	4	T ₁₄	P ₁₄	Q ₁₄	E ₁₄
15	4	8	3	6	T ₁₅	P ₁₅	Q ₁₅	E ₁₅
16	4	8	4	8	T ₁₆	P ₁₆	Q ₁₆	E ₁₆

Для погрузчика-смесителя поступательная скорость задавалась изменением скорости агрегируемого средства, частота вращения шнекофрезерного рабочего органа изменялась.

Для прицепной машины для удаления грунта поступательная скорость изменялась по четырем значениям, изменением скорость движителя; угол наклона поверхности ковша изменялся также по четырем значениям соответствующей установкой ковша. Изменение глубины срезаемого слоя грунта осуществлялось установкой ограничителя на шток цилиндра механизма навески трактора (предварительно проведя соответствующую тарировку).

Энергоёмкость процесса определяли по формуле:

$$E = \frac{P}{Q} \quad (3.6)$$

Аналогичную структуру (таблица 3.4) имеют двухфакторные планы экспериментов по исследованию погрузчика-смесителя и прицепной машины для удаления и погрузки грунта.

Дополнительными исследования проводились при установленных двухфакторным экспериментом значениях частоты вращения и количестве зубьев. Критериями оптимизации также служили: производительность Q , кг/с, коэффициент качества смешивания K , влагоёмкость W_1 , %, воздухоёмкость W_2 , %. Для исключения влияния случайных событий и ошибок опыты выполнялись в случайном порядке по ряду чисел [47, 103, 141, 227].

Таблица 3.5 – Факторы и критерии оптимизации при проведении двухфакторного эксперимента

Варьируемые факторы		Критерий оптимизации			
1	2	3	4	5	6
количество зубьев, шт.	частота вращения, об/мин	производительность, кг/с	коэффициент качества смешивания	воздухоёмкость, %	влагоёмкость, %
Интервал варьирования, Δ					
5,0	50,0	Q	K	W ₁	W ₂
5	200				
10	250				
15	300				
20	350				
25	400				

Результаты двухфакторных экспериментов обрабатывались на ПК с помощью пакета прикладных программ Mahtcad и Microsoft Excel.

В результате получилось уравнение регрессии вида:

$$Y = x_1A^2 + x_2A^2 + x_3B^2 + x_4B - x_5, \quad (3.7)$$

где Y – один из критериев оптимизации: производительность Q , затрачиваемые мощность на валу P , крутящий момент T , энергоёмкость E ; x_1, x_2, x_3, x_4, x_5 – коэффициенты регрессии; A, B – исследуемые факторы.

Задача регрессионного анализа состоит в построении такого уравнения плоскости в $(p+1)$ -мерном пространстве, отклонение результатов наблюдения Y_i ,

от которого были бы минимальными. Для этого следует вычислить значение коэффициентов x_i в полиноме (3.7).

Проверка значимости уравнения регрессии состоит из следующих этапов [134,135]. Вычисляют остаточную дисперсию по формуле:

$$\bar{S}_{ост}^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \vec{y}_i)^2}{n - p - 1}, \quad (3.8)$$

Сравнивают с дисперсией среднего \bar{S}_y^2 с помощью F_k – критерия Фишера:

$$F_k = \frac{\bar{S}_y^2}{\bar{S}_{ост}^2}, \quad (3.9)$$

с числом степени свободы в числе $\nu_{01} = n - 1$ и в знаменателе $\nu_{02} = n - p - 1$.

Уравнение (3.7) адекватно предсказывает результаты опытов, если достигается или превышает границу значимости при выбранном уровне значимости. Значимость коэффициентов регрессии проверяют по критерию Стьюдента:

$$t = \frac{A_i}{S_{bi}}. \quad (3.10)$$

Вычисленное значение t сравнивают с табличным t^T при числе степени свободы $\nu_0 = n - p - 1$.

Погрешность коэффициента регрессии:

$$\bar{S}_{Ai} = \sqrt{\bar{S}_{ост}^2 \cdot C_{ii}}. \quad (3.11)$$

Доверительный интервал для коэффициента регрессии:

$$A_i - t^T \bar{S}_{Ai} \leq \beta_i \leq A_i + t^T \bar{S}_{Ai}, \quad (3.12)$$

где β_i – значение для коэффициента регрессии в генеральной совокупности.

3.6. Оборудование для экспериментальных исследований.

Последовательность проведения опытов

Экспериментальные исследования проводились на изготовленных опытных образцах технологических машин, устройство которых изложено выше. Па-

раметры машин приняты в соответствии с результатами теоретических исследований. Опытные образцы оснащались тензометрической измерительной аппаратурой с программным обеспечением, позволяющим выводить фиксируемые параметры на ноутбук (рисунки 3.12 – 3.15). Тензометрированием замерялись крутящие моменты на валах привода рабочих органов, а также усилия в элементах конструкции с поступательным движением.

Для этого на соответствующих деталях (тензозвеньях) наклеивались тензометрические датчики. Сигнал с датчиков поступал на блок согласования, далее на усилитель сигнала и ноутбук. Тензометрические звенья тарировались в соответствии с инструкциями и методиками [60]. Также фиксировалась частота вращения валов. Поступательная скорость определялась замером пути и времени его прохождения.



Рисунок 3.12 – Измерительный комплекс для определения крутящего момента

Замеры крутящего момента T (Нм) и тягового усилия F (Н), а также частоты вращения и поступательной скорости позволяют определить мощность P (Вт) привода исследуемой машины.



Рисунок 3.13 – Измерительный комплекс на машине для удаления грунта



Рисунок 3.14 – Токосъемник сигнала с вращающегося вала



Рисунок 3.15 – Машина для удаления грунта с измерительной аппаратурой

Оборудование и инструменты для проведения экспериментальных исследований приведены в таблице 3.6, включая оборудование сертифицированной лаборатории тепличного комбината АО «Совхоз-Весна».

Таблица 3.6 – Инструменты и оборудование, использовавшиеся при проведении экспериментальной части исследований

Наименование	ГОСТ (при наличии)	Допускаемое отклонение/ класс точности
Линейка измерительная	427-75	$\pm 0,025$ мм
Штангенциркуль ШЦ-III-500	166-89	$\pm 0,1$ мм
Тахометр электронный	1339-82	Класс точности 1
Весы лабораторные ВЛКТ 500	4873-76	± 20 мг
Секундомер электронный «Интеграл С-01»	23350-98	$\pm (9,6 \cdot 10^{-6} \cdot T_x + 0,01)$ где T_x – интервал времени
Весы напольные СКЕ-500-6080	29329-92	$\pm 0,4$ кг
Комплекс измерительно-вычислительный МИС-018	51841-2001	$\pm 0,05$ %
Шкаф сушильный с регулятором температуры от 80 до 1050С	13474-79	± 20 С
Термометр технический ртутный с ценой деления шкалы 1°С	13646	± 10 С
Шпатель	10778-83	± 10 мм
Эксикатор	25336	
Вставка для эксикатора	10778-83	
Стаканчики весовые с крышками ВС-1	25336-82	

Продолжение таблицы 3.6

Наименование	ГОСТ (при наличии)	Допускаемое отклонение/ класс точности
Бюксы алюминиевые с крышками, высотой 40 мм и диаметром 50 мм;	25336	
Чашы выпаривательные фарфоровые №5-6	9147-80	

Производительность Q (кг/с) в экспериментальных исследованиях определялась взвешиванием массы тепличного грунта или его компонентов и времени, за которое выполнялась его укладка, смешивание или удаление. Значения мощности и производительности позволяют определить энергоемкость E (Дж/кг).

При проведении экспериментов каждый опыт проводился в трехкратной повторности в следующей последовательности:

1. Подготовка экспериментального образца к проведению опыта. Установка требуемых конструктивных и режимных параметров, прогрев трактора. Подъезд к технологической площадке;
2. Включение регистрирующей аппаратуры;
3. Запуск рабочих органов в движение. Проверка работы на холостом ходу;
4. Выполнение рабочего процесса экспериментальным образцом по условиям опыта с замером всех исследуемых параметров;
5. Остановка машины, выключение приводов рабочих органов, остановка регистрирующей аппаратуры;
6. Визуальная оценка результатов эксперимента;
7. Взятие проб, для последующей передачи в специализированную лабораторию (для погрузчика смесителя). Замер высоты уложенного слоя компонента грунта (для комбинированного укладчика);
8. Взвешивание тепличного грунта и его компонентов (для комбинированного укладчика);
9. Возврат экспериментального образца в начальное положение;
10. Внесение данных в журнал эксперимента;
11. Обработка полученных данных;
12. Построение графических зависимостей, анализ, выводы.



Рисунок 3.17 – Экспериментальные исследования процесса погрузки и смешивания компонентов погрузчиком-смесителем



Рисунок 3.18 – Готовый тепличный грунт, приготовленный погрузчиком-смесителем



Рисунок 3.19 – Экспериментальные исследования процесса удаления и погрузки тепличного грунта

3.5. Выводы

1. Обоснована программа исследования физико-механических и технологических свойств тепличного грунта и его компонентов, включающая определение плотности, сопротивления сжатию, сопротивления сдвигу, сопротивления резанию, коэффициента внешнего трения по стали.
2. Разработана методика экспериментальных исследований машин предлагаемых конструкций, включающая серию однофакторных и двухфакторных экспериментов по оптимизации конструктивных и режимных параметров. Данная методика, основанная на теории планирования эксперимента, теории физического моделирования, корреляционно-регрессионном анализе.
3. В качестве факторов выбраны наиболее значимые конструктивно-режимные параметры рабочих органов для каждой машины. В качестве критериев

оптимизации были определены: производительность, мощность, крутящий момент, энергоёмкость, а также ряд технологических параметров: степень смешивания, равномерность укладки компонентов, воздухоёмкость и влагоёмкость приготовленного тепличного грунта.

4. На основании теоретических исследований разработаны и изготовлены опытные образцы машин новых конструкций для работы с тепличным грунтом: комбинированный укладчик, погрузчик-смеситель, машина для удаления и погрузки грунта.

ГЛАВА 4

РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

4.1 Результаты исследований физико-механических и технологических свойств тепличного грунта и его компонентов

Тепличный грунт значительно отличается от других аналогичных сельскохозяйственных материалов – земли, чернозема, органических удобрений, торфа и т.п., поскольку в его состав входят различные компоненты в различных массовых и объемных соотношениях. Наряду с вышеназванными в качестве компонентов для тепличного грунта могут выступать перепревший навоз, опилки, чернозем, песок, минеральные и органические удобрения. Состав и соотношение компонентов в тепличном грунте зависит от назначения и возделываемых культур. В зависимости от состава существенно различаются физико-механические свойства получаемых грунтов. Также они существенно отличаются и от исходных компонентов.

Результаты исследований физико-механических свойств данных компонентов представлены в таблице 4.1. Значения для некоторых наиболее применяемых составов приведены в таблице 4.2. Тепличный грунт подготавливают непосредственно перед использованием в теплицах, т.к. даже при кратковременном хранении с течением времени физико-механические свойства могут существенно изменяться, а технологические свойства ухудшаются. Увеличивается плотность, твердость, коэффициенты трения, сопротивление внедрению рабочих органов. Компонентом, используемым в качестве основы тепличного грунта, является почва с высоким содержанием органических веществ.

Анализ тепличных грунтов различного состава показывает, что физико-механические свойства меняются в зависимости от состава. Несмотря на выравнивание значений в результате воздействия рабочего органа при перемешивании наличие, например, чернозема значительно увеличивает сопротивление деформа-

циям. Соответственно возрастает усилие взаимодействия рабочего органа и энергоемкость процесса.

Таблица 4.1 – Физико-механические и технологические свойства компонентов тепличного грунта

Вид материала	Плотность кг/м ³	Коэффициент внешнего трения по стали	Сопротивление сжатию, Па	Сопротивление сдвигу, кПа
1	2	3	4	5
низинный торф	0,65-0,72	0,63	10 ⁵	9*10 ⁴
перегной	1,1-1,3	0,95	6*10 ⁴	8*10 ⁴
навоз КРС	0,8-1,0	0,9	1,5*10 ⁵	1,2*10 ⁵
чернозем	1,4-1,8	1,0	5*10 ⁴	8*10 ⁴
лузга	0,5-0,6	0,38	-	2*10 ³
удобрения минеральные:				
аммиачная селитра	0,76	0,42	2*10 ⁴	1*10 ⁴
аммофос	0,85	0,58	2,5*10 ⁴	1*10 ⁴
суперфосфат	1,0	0,39	3*10 ⁴	1*10 ⁴
древесные опилки	0,35-0,4	0,8	-	4*10 ⁴

Таблица 4.2. – Физико-механические свойства тепличного грунта

Состав тепличного грунта	Плотность кг/м ³	Коэффициент трения (сталь)	Сопротивление сжатию, кПа	Сопротивление резанию, кПа
1	2	3	4	5
чернозем + опилки + перепревший навоз	0,6...0,7	0,65...0,8	0,047	0,029
навоз полуперепревший + песок + опилки + торф	0,75...0,8	0,9...1,0	0,061	0,038
чернозем + опилки + полуперепревший навоз + минеральные удобрения	0,9...1,05	0,95...1,1	0,078	0,046

Состав тепличного грунта: торф + опилки + перепревший навоз является широко применяемым и наименее трудоемким. Также важным преимуществом данного состава является сравнительно невысокая стоимость, поскольку включает всего три широко распространенных компонента.

Дальнейшие экспериментальные исследования технологических машин проводились на данном составе тепличного грунта. Соотношение компонентов по объемным долям должно быть близким к $1:0,25:0,25$, массовое соотношение корректировало объемное в соответствии с плотностями $\rho_1: \rho_2: \rho_3$, где соответственно ρ_1 – плотность чернозема, ρ_2 – плотность опилок, ρ_3 – плотность перепревшего навоза. В качестве чернозема может выступать ранее использованный и обработанный грунт.

4.2 Результаты экспериментальных исследований машин

Тепличный грунт, его качество во многом определяет урожайность выращиваемых культур. Поэтому качественное выполнение всех составляющих технологического процесса является важнейшим условием эффективности всего тепличного производства. Тепличный грунт состоит из компонентов, различных по влиянию на урожайность (торф, чернозем, навоз, опилки, различные удобрения и др.) поэтому компоненты должны быть равномерно распределены в массиве грунта. Не должно быть недостатка или переизбытка каждого компонента. Первой технологической операцией в предложенной технологии приготовления является укладка компонентов на площадке для смешивания. Для осуществления данной технологической операции используется комбинированный укладчик.

Комбинированный укладчик содержит три бункера для компонентов, в днище которых установлены рабочие органы: цепной транспортер и дозирующие барабаны. Цепной транспортер и дозирующие барабаны оснащены продольно расположенными скребками и планками. При работе укладчика скребки и планки отделяют части компонентов от основного массива в бункере. Количество данных рабочих органов оказывает большое значение на процесс отделения. Основным

режимным параметром, влияющим на процесс укладки компонента на площадку, является угловая скорость барабана. Для цепного транспортера режимным параметром является скорость движения скребков. Данные параметры в наибольшей степени влияют на критерии эффективности комбинированного укладчика – производительность, крутящий момент на приводном валу, мощность привода и энергоемкость, а также равномерность распределения компонента грунта на площадке.

Следующей операцией в технологическом процессе является смешивание уложенных на площадку компонентов и образование тепличного грунта. Осуществление указанной технологической операции производит смеситель-погрузчик, который помимо смешивания выполняет одновременную погрузку полученного тепличного грунта в транспортное средство. Основным рабочим органом погрузчика-смесителя является ленточный шнек, оснащенный режущими зубьями. За счет зубьев ленточный шнек получает возможность эффективного воздействия на послойно уложенные компоненты, обеспечивается отделение частей компонентов от укладки и их крошение. При перемещении лентой шнека компоненты перемешиваются. В связи с этим для исследования имеет большое значение форма режущей поверхности зуба. Частота вращения рабочего органа оказывает большое влияние на перемешивание компонентов в тепличном грунте, поэтому также выбрана в качестве фактора для исследований.

После укладки в теплице с помощью комбинированного укладчика грунт используется для выращивания растений в течение заданного времени. Обычно время использования составляет 1-3 года в зависимости от культур.

Следующей технологической операцией является удаление тепличного грунта или его части после использования в течение заданного времени. Для выполнения данной операции разработана машина с отвальным рабочим органом и ленточно-скребковым отгрузочным транспортером. Отделение слоя грунта машина производит поверхностью отвала, поэтому факторами в исследованиях выбраны высота удаляемого слоя и угол наклона поверхности отвала. Фактором, определяющим режим работы, является поступательная скорость машины.

Исследование указанных конструктивно-режимных факторов и критериев оптимизации в соответствии с программой проводилось по двухфакторным и однофакторным экспериментам.

4.2.1 Результаты исследований влияния конструктивно-режимных параметров на силовые характеристики взаимодействия рабочих органов машин с тепличным грунтом и его компонентами

Для комбинированного укладчика исследовалась зависимость крутящего момента от угловой скорости дозирующих барабанов и количества, установленных на них планок (приложение Г). Установленные на дозирующих барабанах планки, обеспечивают дозирование и равномерность укладки компонентов. В результате проведенных экспериментов построена графическая зависимость крутящего момента от угловой скорости и количества планок (рисунок 4.1).

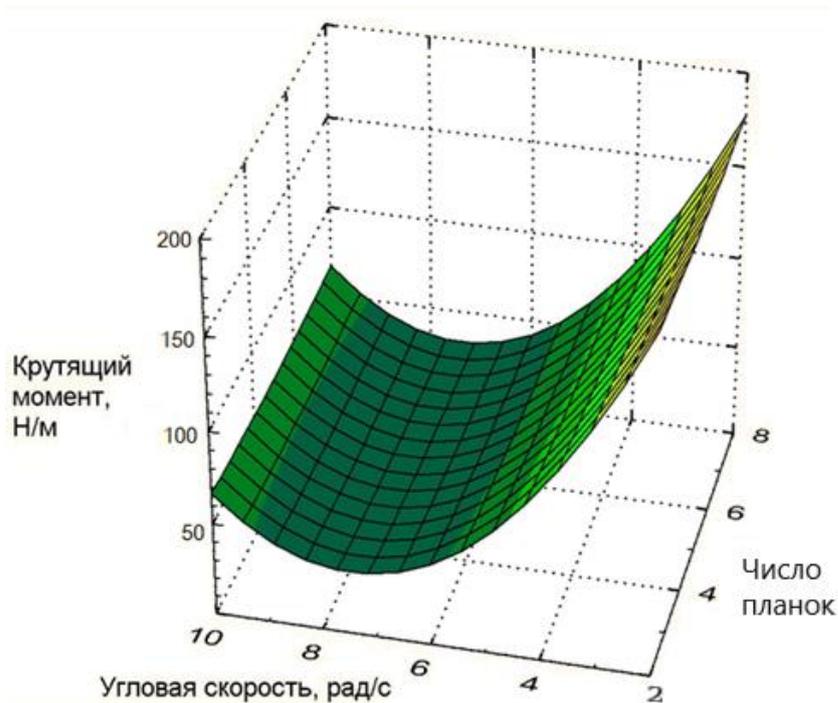


Рисунок 4.1 – Зависимость крутящего момента на валу дозирующего барабана комбинированного укладчика (T , Н/м) от угловой скорости барабана (ω , рад/с) и количества установленных на нем планок (N , шт.)

Систематизация результатов показывает, что крутящий момент достигает минимума при угловой скорости дозирующих барабанов 6 рад/с. От числа планок крутящий момент зависит в меньшей степени, возрастая с увеличением их числа. Данное обстоятельство связано с тем, что каждая планка создает дополнительный срез компонента в бункере, но при этом перемещается одно и то же количество компонента, независимо от того сколько планок его перемещают. При оптимальных значениях угловой скорости крутящий момент минимален, поскольку обеспечивается своевременная отгрузка поступающего на дозирующий барабан компонента. Увеличение или уменьшение угловой скорости от указанных значений приводит к возрастанию крутящего момента. При меньшей угловой скорости крутящий момент возрастает за счет увеличения массы, попадающей в пространство между планками. Барабан не успевает переместить весь поступающий материал, и он забивает барабан. К увеличению крутящего момента при большой угловой скорости приводит более высокая скорость взаимодействия, возрастают силы инерции. Кроме того, планки при взаимодействии отбрасывают поступающие частицы обратно в бункер.

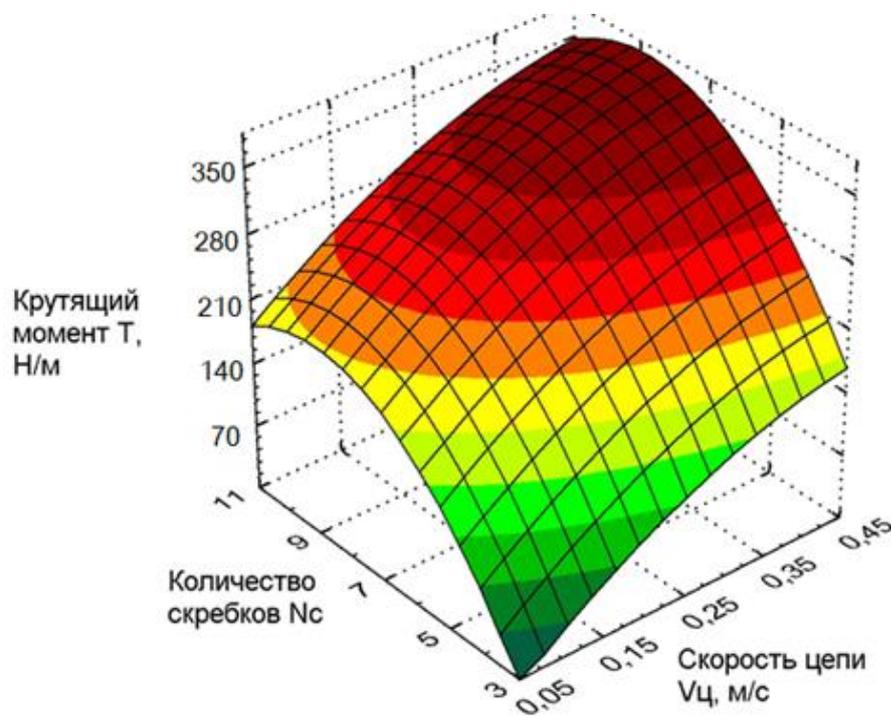


Рисунок 4.2 – Зависимость, описывающая влияние скорости цепи ($v_{ц}$, м/с) и количества скребков (N_c , шт.) комбинированного укладчика на крутящий момент на приводном валу транспортера (T , Н/м)

Проведено исследование влияния количества скребков N_c и скорости цепи $V_{ц}$ на крутящий момент на валу цепного транспортера комбинированного укладчика (приложение Г). В результате проведенного двухфакторного эксперимента получена зависимость крутящего момента на валу T (Н/м), от указанных параметров. Зависимость представлена двухмерной поверхностью – рисунок 4.2.

Уравнение регрессии, описывающее графическую зависимость 4.2, имеет вид:

$$T = -896,743 + 2300,75v_{ц} + 308,21N_c - 2101,75v_{ц} - 5,692v_{ц}N_c - 17,215N_c^2 \quad (4.1)$$

Влияние скорости цепи на крутящий момент отличается от влияния оказываемого количеством скребков N_c . В исследуемом диапазоне с увеличением $V_{ц}$ крутящий момент возрастает, хотя и нелинейно. С увеличением скорости интенсивность возрастания уменьшается. Например, с увеличением скорости цепи с 0,13 до 0,22 м/с, происходит рост крутящего момента на приводном валу цепного транспортера с 575,4 до 706,3 Нм. От количества скребков крутящий момент зависит также нелинейно, и имеет область максимума. С увеличением N_c крутящий момент вначале интенсивно возрастает. Однако, при количестве скребков равном 8-10 для транспортера длиной 2,5 м крутящий момент достигает максимального значения. При дальнейшем увеличении N_c происходит его некоторое снижение.

Рассмотренный характер увеличения крутящего момента связан с количеством перемещаемого материала. Как увеличение скорости движения скребков, так и увеличение их количества приводит к росту пропускной способности цепного транспортера. Увеличивается масса компонентов, перемещаемая в единицу времени, за счет этого увеличивается сопротивление перемещению скребков и крутящий момент на приводном валу цепного транспортера возрастает. Однако, при возрастании исследуемых факторов до определенного значения (0,45 м/с и 9 скребков) рост крутящего момента прекращается, поскольку масса компонентов, которая может поступить в межскребковое пространство, имеет конечное значение. Кроме того, при большом количестве скребков ухудшаются условия для попадания материала в рабочее пространство транспортера. Снижается количе-

ство компонентов, транспортируемых скребками в единицу времени, что объясняет падение крутящего момента на рисунке 4.2 при 9 скребках и более.

Исследование влияния поступательной скорости погрузчика-смесителя и угловой скорости его рабочего органа на крутящий момент проводилось по разработанному двухфакторному плану эксперимента. Конструкция и параметры изложены в третьей главе. В результате обработки полученных данных получено уравнение регрессии:

$$T = 6379v^{2,92} + 3,41|\omega - 12,53v - 3,77|^{2,85}, \quad (4.2)$$

Графически в виде двумерной поверхности уравнение 4.2 представлено на рисунке 4.3. Рабочий орган погрузчика-смесителя шнекофрезерного типа со специальными режущими и смешивающими элементами. Поступательная скорость составляла от 0,08 до 0,14 м/с; угловая скорость составляла от 5 до 16,5 рад/с.

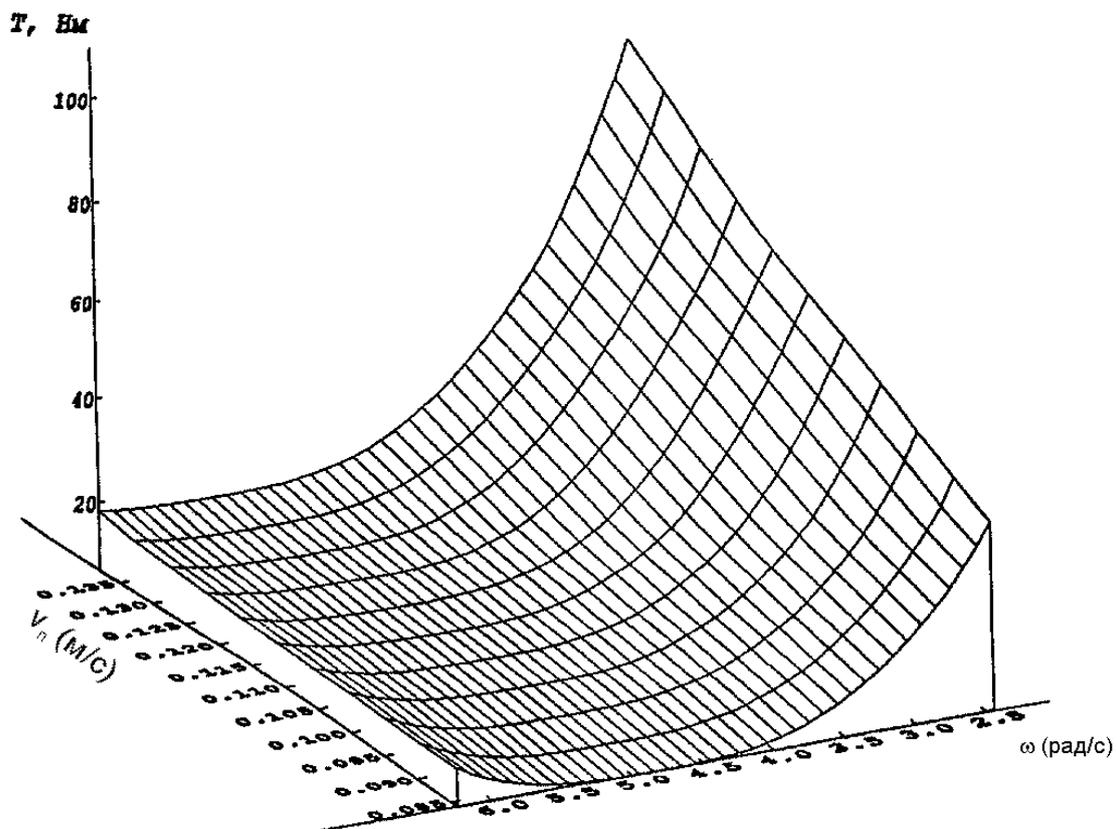


Рисунок 4.3 – Зависимость крутящего момента (T , Н/м) на валу рабочего органа погрузчика-смесителя от поступательной скорости машины ($v_{п}$, м/с) и угловой скорости шнека (ω , рад/с)

Анализ графической зависимости показывает, что при малых значениях угловой скорости производительность рабочего органа для переработки поступающего материала снижается. Рабочий орган переполняется поступающим материалом. Происходит значительный рост крутящего момента (до 600 ... 800 Нм и более).

Для согласования производительности рабочего органа с подачей укладки компонентов при движении погрузчика-смесителя необходимо увеличение угловой скорости или уменьшением поступательной скорости. В этом случае оптимизируется заполнение межвиткового пространства шнековой фрезы, облегчается процесс отделения, перемешивания компонентов тепличного грунта и отгрузки на транспортер. Величина крутящего момента при этом снижается. Однако при увеличении угловой скорости более 15 рад/с снижение незначительно, а наблюдается некоторый рост. Анализ уравнения (4.2) позволяет сделать вывод об области минимальных значений крутящего момента, она соответствует угловой скорости 10-12 рад/с.

Проведенные экспериментальные исследования основных факторов, влияющих на усилие F (Н) на перемещение машины для удаления грунта, позволили получить уравнения регрессии, и соответствующие им графические зависимости. На рисунке 4.4 представлена зависимость усилия необходимого для перемещения машины при работе от высоты удаляемого слоя грунта (h , мм) и скорости перемещения (v , м/с) в виде трехмерной поверхности.

Уравнение регрессии, полученное после обработки опытных данных:

$$F = 9855,697 - 54909,7 \times v - 46,396h + 1,52 \times 10^5 v^2 - 52,563 \times vh + 0,316h^2 \quad (4.3)$$

Анализ результатов эксперимента показывает, что влияние исследуемых факторов на усилие, необходимое для перемещения машины носит сложный нелинейный вид с областью оптимума. Такое изменение усилия обусловлено особенностями взаимодействия отвала со слоем тепличного грунта и последующей отгрузки отделенных частей транспортером. На невысокой поступательной скорости движения машины частицы грунта прилипают к рабочим поверхностям, грунт накапливается перед отвалом, что показано на рисунке 4.5. Для его пере-

мещения необходимо дополнительное усилие. По мере увеличения поступательной скорости движения усилие перемещения снижается.

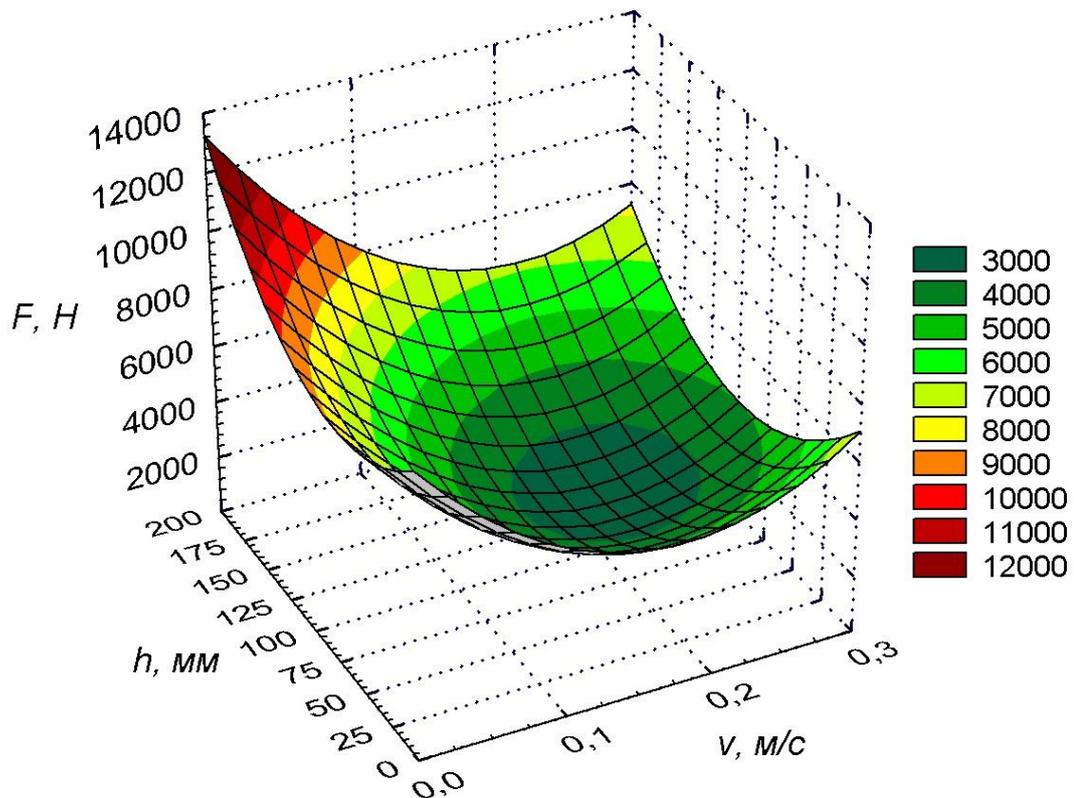


Рисунок 4.4 – Зависимость усилия затрачиваемого на перемещение машины для удаления грунта при работе (F, H) от высоты слоя тепличного грунта ($h, \text{мм}$) и скорости перемещения ($v, \text{м/с}$)

Снижение усилия перемещения происходит до скорости 0,21 - 0,22 м/с. С увеличением скорости движения машины отделяемая часть грунта скользит по поверхности отвала, снижение усилия F происходит за счет уменьшения налипания и скапливания тепличного грунта перед машиной. Также происходит скалывание отделяемого слоя и соответственно снижение сопротивления отделению. При увеличении поступательной скорости свыше 0,22 м/с наблюдается переполнение отвала отделяемым грунтом из-за того, что он не успевает переместиться на отгрузочный транспортер. Грунт также накапливается на рабочих поверхностях и перед машиной, что приводит к росту усилия, необходимого для перемещения машины.



Рисунок 4.5 – Процесс взаимодействия ковша машины со слоем тепличного грунта

Зависимость усилия, необходимого для перемещения машины от высоты удаляемого грунта также имеет нелинейный характер. При высоте грунта в пределах 20 – 80 мм усилие показывает некоторое снижение, что обусловлено статистической обработкой и построением уравнения регрессии. По опытным данным усилие в этом диапазоне высоты F изменяется мало. Интенсивный рост усилия наблюдается при h более 105 мм. По данным эксперимента при высоте $h = 60$ мм и скорости машины 0,11 м/с усилие составляет 3675 Н. При высоте $h = 100$ мм усилие составляет $F = 3621$ Н. Увеличение высоты со 100 до 140 (мм) приводит к росту усилия отделения до 4215 Н. Характер исследуемой зависимости усилия для перемещения машины определяется тем, что при высоте слоя до 20-70 мм нормальное давление и междуслойное взаимодействие в отделяемой части грунта невелики, поэтому сопротивление отделению тепличного грунта в целом изменяется незначительно. При высоте слоя более 80 мм сопротивление отделяемого грунта значительно возрастает. Чем больше высота слоя, тем больше нормальное

давление и связность грунта и соответственно возрастает сопротивление внедрению отвала машины.

Одним из основных конструктивных параметров машины для удаления тепличного грунта является угол наклона рабочей поверхности отвала. Проведенные экспериментальные исследования совместного влияния поступательной скорости и указанного угла на усилие, необходимое для перемещения машины при работе, позволили получить опытные данные двухфакторного эксперимента. По результатам обработки указанных опытных данных получено уравнение регрессии и графическая зависимость (приложение Д).

Уравнение регрессии, описывающее данную зависимость, имеет вид:

$$F = 14507,7 - 65712,35 \times v - 439,168 \gamma + 1,59 \times 10^5 \times v^2 + 204,5 \times v \gamma + 7,907 \gamma^2 \quad (4.4)$$

Анализ уравнения регрессии позволил построить графическую зависимость (рисунок 4.6), которая показывает наличие области минимальных значений усилия F от исследуемых факторов.

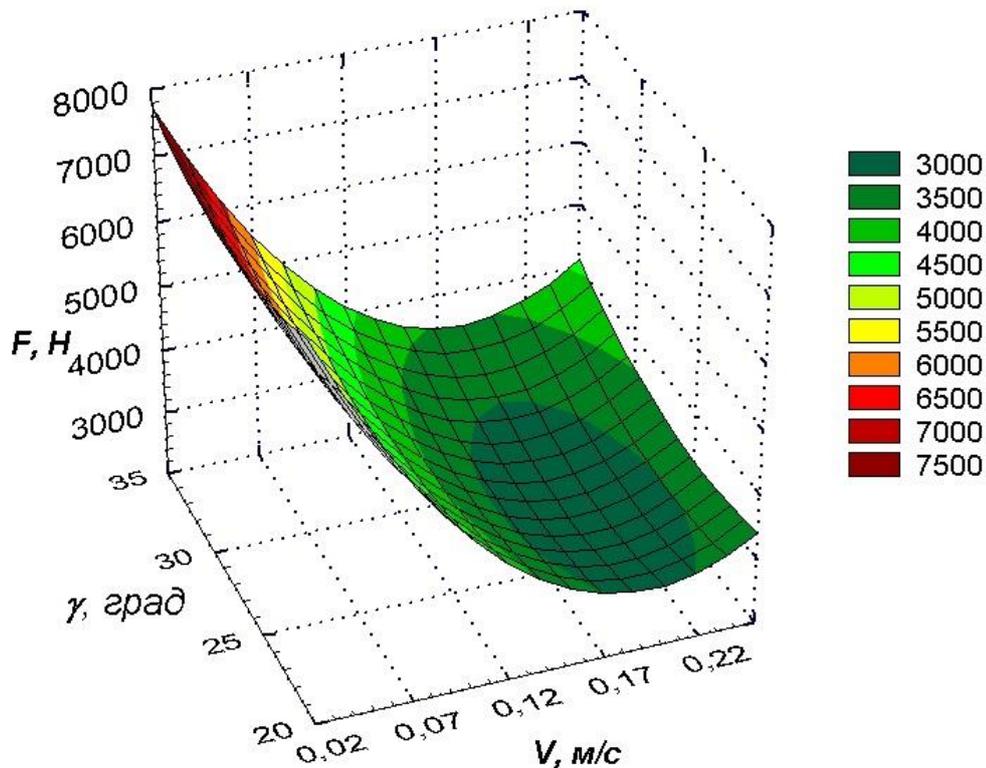


Рисунок 4.6 – Влияние угла наклона поверхности отвала γ (град) и скорости перемещения v (м/с) на усилие для перемещения (F, H) машины для удаления тепличного грунта

Область минимальных значений усилия для перемещения машины имеет место при скорости 0,19 - 0,21 (м/с). При значениях поступательной скорости машины меньше приведенного диапазона на усилие перемещения оказывает влияние липкость грунта к рабочим поверхностям, создавая дополнительное сопротивление. Грунт скапливается перед отвалом, что также требует увеличения тягового усилия. С увеличением скорости движения машины, части грунта, отделенные от основного слоя, скользят по поверхности отвала без налипания. За счет этого происходит уменьшение необходимого тягового усилия. При скорости более указанного оптимального диапазона увеличивается заполнение отделяемым грунтом ленточно-скребкового транспортера, грунт не сразу захватывается транспортером и скапливается на поверхности отвала. Кроме того, возрастает составляющая от сил инерции и в результате усилие, необходимое для перемещения машины значительно возрастает, что подтверждается графической зависимостью на рис. 4.6.

Область минимальных значений необходимого тягового усилия расположена при значениях угла наклона поверхности отвала 24...26 градусов. Изменение угла наклона от указанных значений в меньшую или большую сторону приводит к росту необходимого тягового усилия для перемещения машины. При угле наклона менее 24 градусов усилие увеличивается, но незначительно. Данное увеличение связано с тем, что при угле наклона до 25 градусов геометрически увеличивается рабочая длина отвала, что приводит к росту силы трения при движении отделенных частей по более длинной поверхности, что и приводит к некоторому возрастанию усилия для движения машины.

Существенное увеличение усилия, необходимого для перемещения машины наблюдается с увеличением угла наклона поверхности отвала более 26 градусов. По данным эксперимента, при угле наклона поверхности отвала $\gamma = 20$ градусов и скорости перемещения 0,11 м/с усилие составляет 6292 Н, а при угле наклона поверхности отвала $\gamma = 25$ градусов усилие $F = 5958$ Н. Увеличение угла с 30 мм до 35 градусов приводит к росту усилия до 6394 Н. Полученная зависимость объясняется следующим образом. Отделяемые части грунта при подъеме по рабо-

чей поверхности отвала частично соскальзывают обратно к основному слою и скапливаются перед ним. Чем больше угол наклона поверхности, тем большее количество грунта смещается обратно. При больших углах наклона грунт значительной частью будет не попадать на транспортер, а сталкиваться отвалом по принципу, аналогичному работе бульдозера. Таким образом, оптимальный угол наклона поверхности отвала составляет $\gamma = 24...26$ градусов.

4.2.2 Результаты исследований влияния конструктивно-режимных параметров на производительность технологических машин для работы с тепличным грунтом и его компонентами

Проведенный анализ факторов показал наибольшее влияние на производительность укладки компонентов грунта угловой скорости и количества планок дозирующих барабанов (приложение Г). Результаты экспериментальных исследований представлены в виде уравнения регрессии (4.5) и графической зависимости (рисунок 4.7) Адекватность описания уравнения регрессии проверялась по критерию Фишера.

$$Q = -1,863 + 1,163\omega + 0,715N - 0,087\omega^2 - 0,004N\omega - 0,055N^2. \quad (4.5)$$

Анализ полученной зависимости показывает, что с увеличением исследуемых факторов производительность дозирующих барабанов возрастает до определенного значения, затем начинает снижаться. Зависимость адекватно описывается уравнением второго порядка (4.5), т.е. носит квадратичный характер.

Максимального значения производительность достигает при угловой скорости барабанов $6...6,5$ рад/с и шести симметрично установленных через 60 градусов планках. Таким образом, проведенный анализ показывает, зависимость имеет область оптимума, при которой производительность максимальна, которая соответствует $5.8 - 6.5$ рад/с угловой скорости и количеству планок $N = 6...7$.

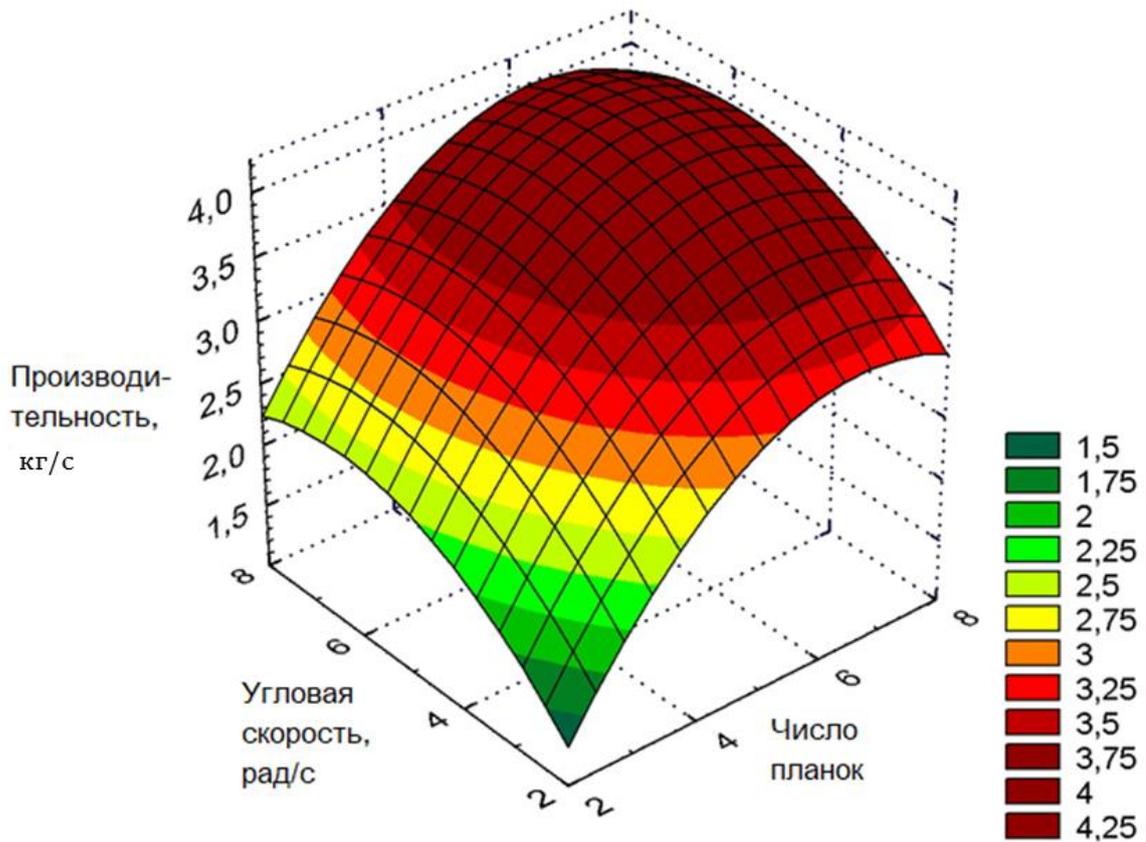


Рисунок 4.7 – Зависимость производительности (Q , кг/с) дозирующего барабана комбинированного укладчика от угловой скорости (ω , рад/с) и количества планок барабана (N , шт.)

Увеличение или уменьшение исследуемых параметров от указанных значений приводит к снижению производительности. При запуске барабанов в работу вначале угловая скорость мала и соответственно мала масса перемещаемых на укладку компонентов. Производительность имеет невысокое значение. С увеличением угловой скорости барабанов увеличивается масса компонентов тепличного грунта, захватываемых и укладываемых на поверхность. Производительность интенсивно возрастает. Однако при достижении угловой скорости 5,5 – 6,0 рад/с рост прекращается, а при скорости более 6,5 рад/с, производительность начинает снижаться. Данное снижение связано с уменьшением заполнения пространства между планками из-за высокой частоты вращения и появления ударных воздействий на материал. Влияние количества планок аналогичное. Малое количество планок не позволяет непрерывно перемещать компоненты. С увеличением коли-

чества планок растет масса захваченного компонента, достигает максимума при 6 планках для данного барабана. Дальнейшее увеличение количества планок не приводит к увеличению производительности. При количестве планок более 6 создаются помехи заполнению рабочего пространства транспортера, что приводит к снижению производительности, что видно на рисунке 4.7. Область оптимальных значений параметров дозирующих барабанов по максимальной производительности соответствует угловой скорости 6...6,5 рад/с и количеству планок $N = 6$.

Основной компонент – чернозем укладывается на площадку цепным скребковым конвейером. Производительность укладки зависит от количества скребков и их линейной скорости. В результате обработки экспериментальных данных получено уравнение регрессии (4.6) и графическая зависимость в виде двумерной поверхности (рисунок 4.8):

$$Q = -29,53 + 101,815v_{ц} + 8,521N_c - 146,25v_{ц}^2 - 0,37v_{ц}N_c - 0,534N_c^2 . \quad (4.6)$$

Уравнение 4.6 определяет квадратичный характер изменения производительности от скорости движения цепи и от количества скребков. Сечения двумерной поверхности (рисунок 4.8), соответствующей уравнению 4.6 имеет вид обратной параболы.

Таким образом, существует область исследуемых параметров, при которых производительность имеет максимальное значение. Данная область соответствует $v_{ц} = 0,33-0,37$ м/с и количеству скребков 6-8. До указанной области производительность интенсивно возрастает как с увеличением скорости цепи, так и с увеличением количества скребков.

Например, увеличение скорости цепи с 0,15 до 0,25 м/с приводит к росту Q с 12,4 до 16,2 кг/с. Увеличение количества скребков с 4 до 6, при одной и той же скорости цепи $V_{ц} = 0,12$ м/с, приводит к росту производительности с 5,2 до 12,4 кг/с. При значениях исследуемых факторов более, чем в указанной области производительность снижается. При $V_{ц} = 0,42$ м/с и при 10 скребках производительность транспортера снижается. При дальнейшем увеличении исследуемых факторов производительность снижается в большей степени.

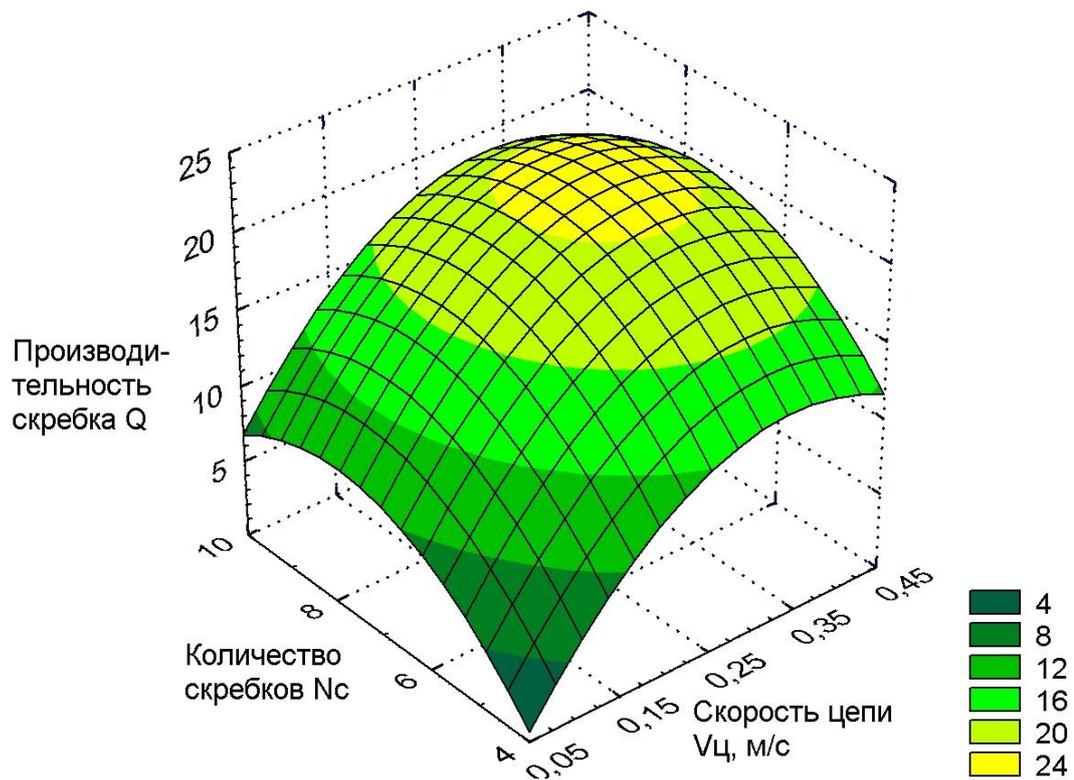


Рисунок 4.8 – Зависимость производительности (Q , кг/с) укладки компонентов тепличного грунта цепным транспортером комбинированного укладчика от скорости цепи (v_c , м/с) и количества скребков (N_c , шт.)

Снижение производительности при уменьшении исследуемых параметров от оптимальной области связано с уменьшением пропускной способности транспортера. Скорость движения скребков и их количество обуславливают величину массы перемещаемого материала. Их уменьшение обуславливает уменьшение массы, перемещаемой в единицу времени. С другой стороны, снижение производительности происходит и при увеличении скорости и количества скребков больше оптимальных значений. При большой скорости уменьшается заполнение межскребкового пространства, поскольку материал не успевает его заполнить. При большом количестве скребков уменьшается рабочее пространство транспортера.

Для погрузчика-смесителя исследовалось влияние на производительность режимных параметров – поступательной скоростью погрузчика и частоты вращения шнекофрезерного рабочего органа, а также конструктивных параметров и от-

дельно, формы режущих зубьев. Режущие зубья выполняют функцию отделения компонентов тепличного грунта, а далее участвуют в их перемешивании. Как указано в третьей главе исследовались три формы режущих зубьев (рисунок 3.9).

В результате воздействия шнекофрезерного рабочего органа погрузчика-смесителя компоненты хорошо перемешиваются однородную массу и представляют собой готовый тепличный грунт (рисунок 4.9). Форма зубьев также оказывает влияние на качество смешивания и производительность. Влияние формы зубьев исследовалось серией однофакторных экспериментов.



Рисунок 4.9 – Тепличный грунт, подготовленный погрузчиком – смесителем

На рисунке 4.10 представлено влияние различной формы зубьев на производительность погрузчика-смесителя. Результаты экспериментальных исследований показывают, что производительность при треугольной форме зубьев, установленных перпендикулярно к радиусу шнека (рисунок 4.10, а) несколько больше

чем при установке зубьев другой формы (рисунок 4.10, б, в). Это связано с тем, что треугольная форма зубьев, установленных перпендикулярно к радиусу шнека, позволяет уменьшить радиальное расстояние между наружной кромкой шнека и кожухом. Указанное радиальное расстояние увеличивается в других формах зубьев, что обуславливает некоторое снижение скорости осевого перемещения материала, чем и объясняется снижение производительности.

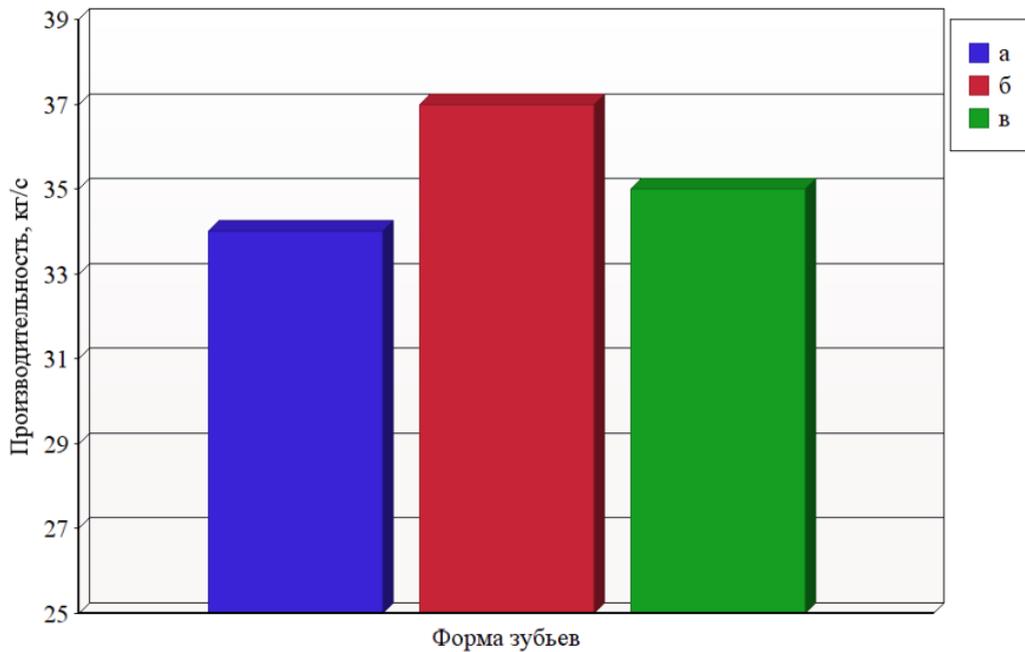


Рисунок 4.10 Диаграмма зависимости производительности (Q , кг/с) погрузчика-смесителя от различной формы зубьев рабочего органа: а – треугольная, установленная перпендикулярно к радиусу шнека; б – криволинейная в виде сферического треугольника; в – треугольная, установленная под углом наклона к радиусу

Наряду с проведением однофакторных экспериментов по исследованию влияния на производительность различной формой зубьев рабочего органа были проведены двухфакторные эксперименты по исследованию производительности (Q (кг/с)) от частоты вращения шнекофрезерного рабочего органа (n (об/мин)) и количества установленных на нем зубьев (z). Экспериментальные исследования позволили получить уравнения регрессии, и соответствующие им графические зависимости, описывающие полученные результаты. Частота вращения задавалась

по пяти уровням, число зубьев по четырем уровням. Уравнение регрессии, описывающее изменение производительности, имеет вид второго порядка:

$$Q = 0,303363 \cdot n - 0,00057287 \cdot n^2 + 0,25694 \cdot z - 0,0087963 \cdot z^2 - 4,59939 \quad (4.7)$$

На рисунке 4.11 представлена графическая зависимость производительности погрузчика-смесителя от указанных факторов.

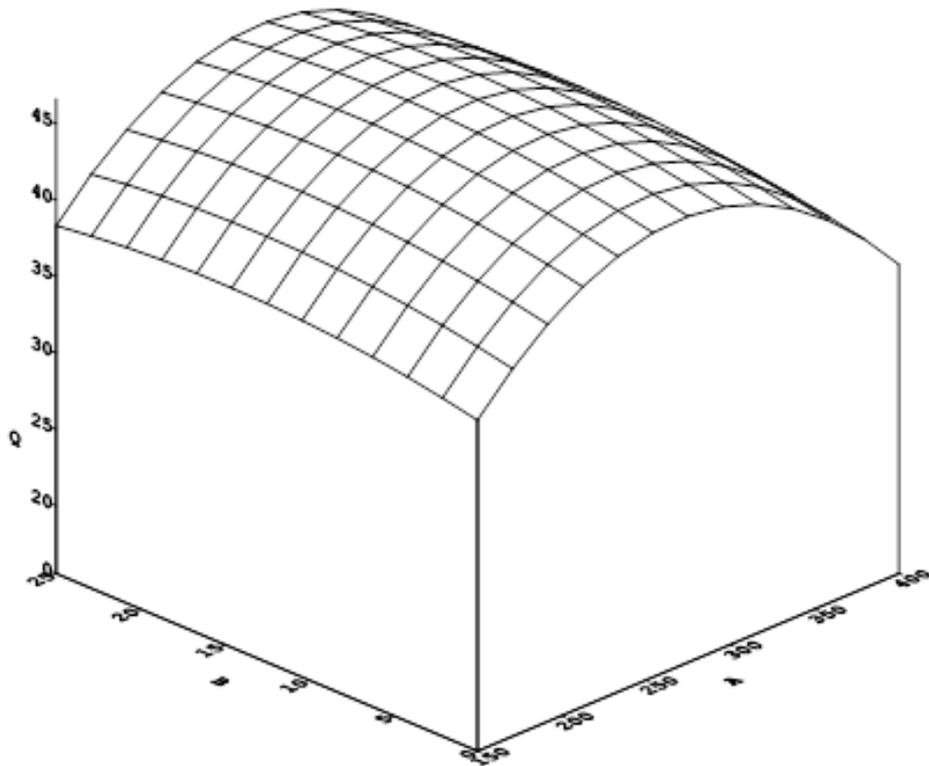


Рисунок 4.11 – Зависимость производительности погрузчика-смесителя (Q , кг/с) от частоты вращения шнекофрезерного рабочего органа фактор А (n , об/мин) и количества зубьев фактор В (z , шт.)

Адекватность уравнения (4.7) экспериментальным данным проверялась по критерию Фишера [47]. Уравнение (4.7) и соответствующая ему графическая зависимость показывают существование максимума производительности погрузчика-смесителя тепличного грунта по задаваемым параметрам.

Анализ данной зависимости показывает, производительность шнекофрезерного рабочего органа в проведенных исследованиях изменяется аналогично

другим шнековым устройствам и рабочим органам [66, 205]. С ростом частоты вращения рабочего органа производительность вначале возрастает. Однако, рост происходит до определенного значения, которое для данных условий составило по частоте вращения 285...315 (об/мин). Производительность при этом достигает максимального значения. Увеличение частоты вращения более 315 об/мин приводит к постепенному ее снижению. Такое изменение производительности, адекватно описываемое квадратичным уравнением, объясняется особенностями работы аналогичных шнековых рабочих органов. При взаимодействии с компонентами тепличного грунта при большой частоте вращения шнековые лопасти и поверхность зубьев за счет центробежных сил и сил трения частично перебрасывают их обратно в борт, что показано на рисунке 4.12. Чем выше частота вращения, тем выше центробежные силы. Поэтому увеличивается часть компонентов, которая перебрасывается обратно к основному массиву и тем больше снижение производительности.



Рисунок 4.12 – Перебрасывание части компонентов тепличного грунта при большой частоте вращения шнекофрезерного рабочего органа

Влияние количества зубьев на производительность менее значительное, но также существенное. Также имеет место точка максимума, которая соответствует 22-24 зубьям. Зубья обеспечивают эффективное отделение компонентов тепличного грунта и перемещение их к винтовой поверхности рабочего органа. Максимальная производительность наблюдается при наибольшем количестве зубьев, работающих без перекрытия. Для данного рабочего органа с шириной захвата 1,8 м и указанных в 3 главе параметров зубьев оптимальное их количество составило $z = 24$. Производительность при этом составила 39,2 кг/с.

Согласно квадратичной зависимости (уравнение 4.7) изменение количества зубьев от оптимального значения приводит к снижению производительности. При дальнейшем увеличении количества зубьев больше указанного значения, происходит перекрытие рабочих зон, и образуются помехи для транспортирования. Поэтому производительность снижается.

При меньшем количестве зубьев компоненты тепличного грунта отделяются не только зубьями, но и винтовой поверхностью рабочего органа. Выполнение функций отделения и транспортирования винтовой поверхностью шнека приводит к снижению производительности его работы.

Для машины, предназначенной для удаления использованного тепличного грунта, исследовалось влияние на производительность высоты слоя грунта и поступательной скорости (приложение Д). В результате реализации двухфакторного эксперимента и обработки данных получено уравнение регрессии (4.8) и соответствующая графическая зависимость (рисунок 4.13).

$$Q = 0,052 + 35,068v + 0,01h - 108,854v^2 + 0,26vh + 5,195 \times 10^{-5}h^2 \quad (4.8)$$

Анализ уравнения регрессии (4.8) и графическая зависимость показывает, что производительность возрастает с увеличением параметров во всем исследуемом диапазоне. Влияние высоты слоя на производительность имеет практически линейный характер при всех значениях поступательной скорости, что видно из графического отображения (рисунок 4.14). Однако, при анализе уравнения (4.8) установлено, коэффициент при квадратичном члене является значимым. Следова-

тельно, зависимость имеет квадратичный характер. Например, при скорости машины 0,17 м/с увеличение высоты слоя со 100 до 140 мм приводит к увеличению производительности с 9,0 до 11,3 кг/с. Увеличение высоты убираемого слоя со 140 до 180 мм приводит к росту производительности с 11,3 до 14,7 кг/с, что подтверждает квадратичный характер зависимости.

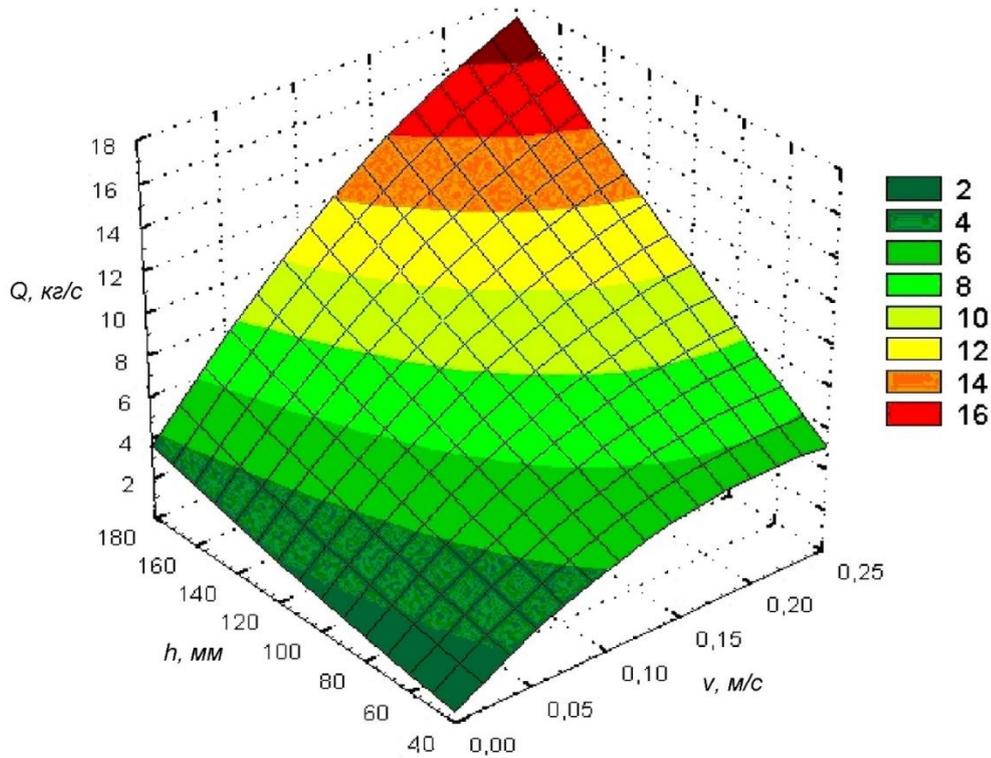


Рисунок 4.13 – Зависимость производительности машины для удаления тепличного грунта (Q , кг/с) от высоты удаляемого слоя грунта (h , мм) и поступательной скорости (v , м/с)

Влияние поступательной скорости на производительность машины для удаления санитарного слоя тепличного грунта связано с взаимодействием подачи массы компонентов и отгрузочной способности машины. Увеличение скорости с 0,11 до 0,17 м/с при высоте слоя грунта 140 мм увеличивает производительность с 8,9 до 11,3 кг/с, т.е. на 27 %. В то же время увеличение скорости с 0,17 до 0,24 м/с приводит к увеличению производительности с 11,3 до 13 кг/с, т.е. на 15 %. Снижение интенсивности роста производительности связано с ограниченной возможностью отгрузки поступающей массы.

При увеличении поступательной скорости машины и высоты слоя компонентов тепличного грунта происходит увеличение подачи массы, поступающей к машине в единицу времени, что обуславливает рост производительности. Однако, дальнейшее увеличение указанных факторов приводит к перегрузке отгрузочного транспортера. Рост производительности замедляется и затем полностью прекращается на уровне отгрузочной способности машины. Такая зависимость носит нелинейный характер и адекватно описывается уравнением второго порядка.

Графическая зависимость на рисунке 4.14 показывает отсутствие области оптимума. Для обоснования рациональных значений исследуемых параметров необходимо исследование дифференциального параметра эксперимента – энергоемкости.

Важным конструктивным параметром машины для удаления тепличного грунта является угол наклона поверхности отвала. Данный угол напрямую связан с основным режимным параметром – поступательной скоростью машины. В результате обработки данных эксперимента по исследованию влияния на производительность угла наклона поверхности отвала и поступательной скорости, получено уравнение регрессии (4.9), графически представленное на рисунке 4.14.

$$Q = -8,175 + 71,25v + 0,802\gamma - 104,176v^2 - 0,467v\gamma - 0,016\gamma^2 \quad (4.9)$$

Проведенный анализ показывает, что производительность возрастает с увеличением поступательной скорости. При этом согласно уравнению Q меняется по квадратичной зависимости. С ростом скорости машины с 0,11 до 0,17 м/с при угле наклона 30 градусов производительность увеличивается с 6,8 до 8,8 кг/с. В то же время увеличение скорости с 0,17 до 0,24 м/с приводит к увеличению производительности с 8,8 до 9,7 кг/с. Нелинейный характер изменения производительности от поступательной скорости связан с возможностью отгрузки поступающего грунта. При больших значениях скорости транспортер не успевает отгрузить всю массу поступающего грунта, что обуславливает прекращение роста производительности.

Зависимость от угла наклона поверхности отвала также является не линейной. Первоначально с увеличением γ производительность несколько возрастает. Затем после достижения максимума при угле $\gamma = 25 \dots 26$ градусов производительность снижается. По результатам эксперимента при скорости машины $0,17$ м/с увеличение угла наклона с 20 до 25 градусов приводит к увеличению производительности с $9,0$ до $9,5$ кг/с. При той же скорости увеличение угла γ с 30 до 35 градусов приводит к снижению производительности с $8,8$ до $7,3$ кг/с.

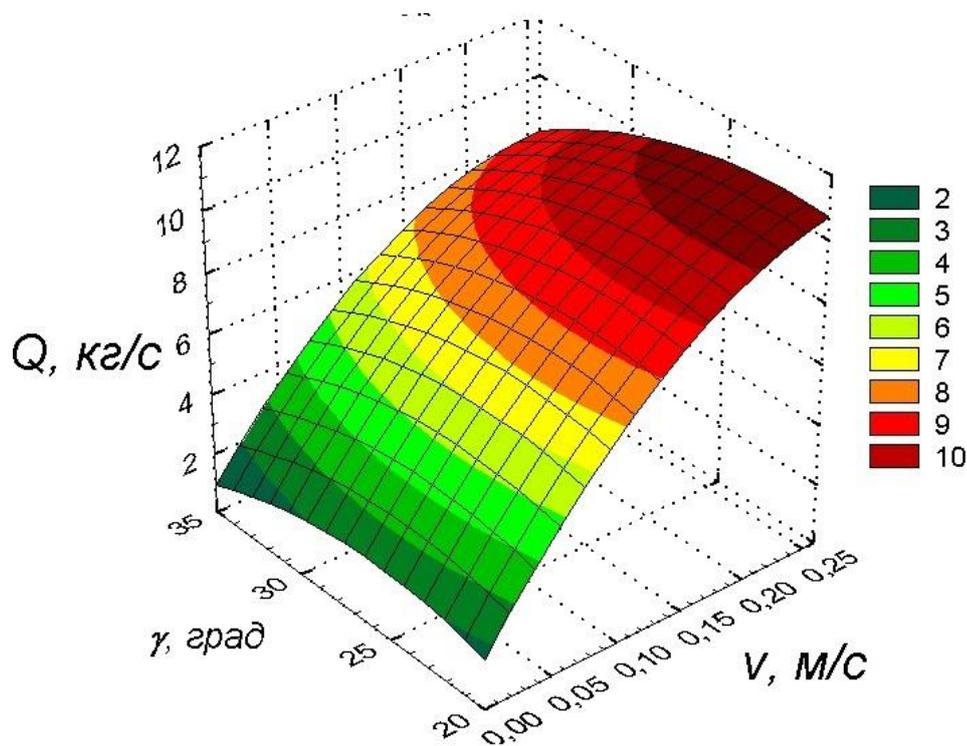


Рисунок 4.14 – Влияние поступательной скорости ($v, \text{м/с}$) и угла наклона поверхности ковша ($\gamma, \text{град}$) на производительность ($Q, \text{кг/с}$) процесса удаления

Влияние угла наклона поверхности отвала на производительность объясняется его взаимодействием с тепличным грунтом. Траектория движения частиц такова, что с увеличением угла часть грунта, поднимаясь по поверхности, падает назад. Чем больше угол наклона, тем большая часть грунта падает на поверхность теплицы. Аналитическое решение уравнения (4.9) показывает области оптимума по углу наклона $\gamma = 22 \dots 24$ градуса. Производительность составила $16,4$ кг/с при наибольшем значении поступательной скорости.

4.2.3 Результаты исследований влияния конструктивно-режимных параметров на мощность привода технологических машин для работы с тепличным грунтом и его компонентами

Важным показателем эффективности работы укладчика является мощность на валу барабана. Проведенные экспериментальные исследования позволили установить влияние угловой скорости и количества планок на мощность, необходимую для привода. По результатам обработки полученных экспериментальных данных построена графическая зависимость (рисунок 4.15)

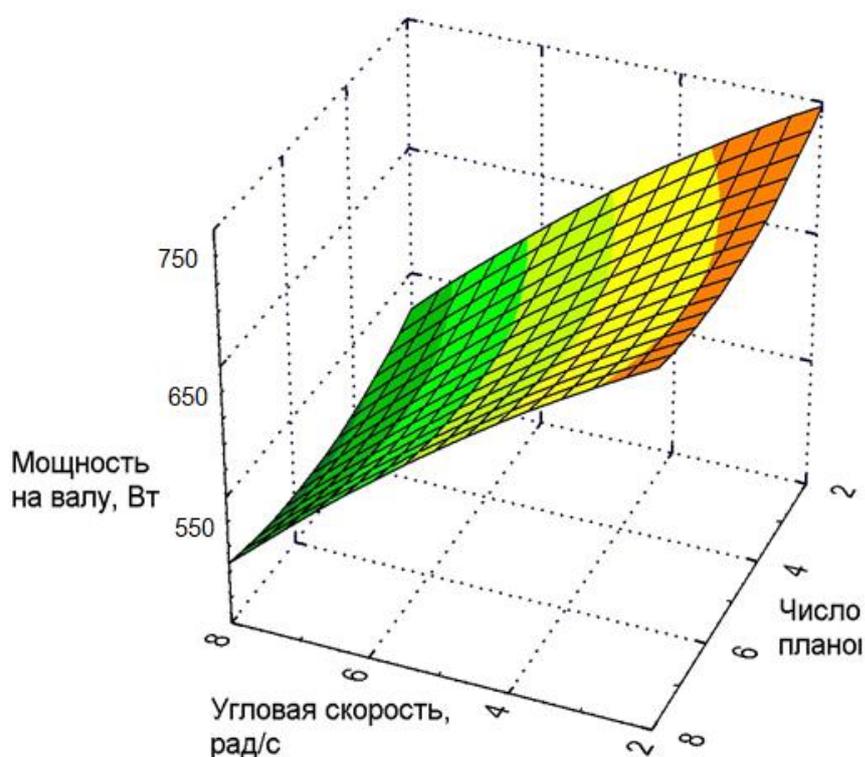


Рисунок 4.15 – Зависимость мощности (P , Вт) на валу дозирующего барабана укладчика от угловой скорости (ω , рад/с) и количества планок (N , шт.)

С увеличением угловой скорости необходимая для привода мощность возрастает во всём исследуемом диапазоне. Минимальная мощность соответствует большим значениям угловой скорости. При малой угловой скорости необходимая мощность привода возрастает, и большое значение имеет крутящий момент, что связано с забиванием барабана, поступающим из бункера материалом. С повыше-

нием значения угловой скорости уменьшается масса поступающего компонента, и крутящий момент снижается, что в свою очередь приводит к снижению необходимой мощности. Мощность от количества планок зависит в меньшей степени. Максимальная мощность соответствует 2 планкам, затем незначительно снижается и стабилизируется при 6...8 планках. Это связано с тем, что количество планок в малой степени влияет на поступающую их бункера массу. Заполнение межпланочного пространства остается постоянным, поэтому мощность практически не меняется при одном и том же числе планок.

По результатам исследований крутящего момента на приводном валу и замерам угловой скорости получены экспериментальные данные для приводной мощности, необходимой для привода скребкового транспортера. Графически в виде двухмерной поверхности данная зависимость представлена на рисунке 4.16.

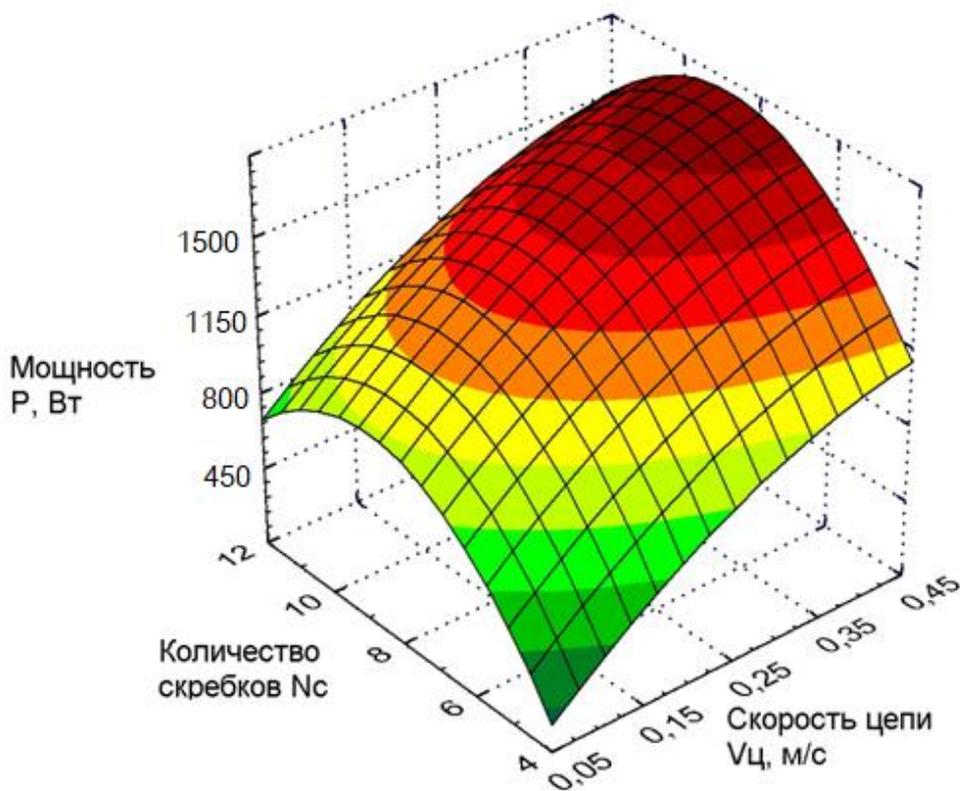


Рисунок 4.16 – Зависимость мощности, необходимой для привода цепей транспортера укладчика (P , Вт) от скорости цепи ($v_{ц}$, м/с) и количества скребков ($N_{с}$, шт.)

Полученные зависимости показывают, что характер изменения мощности от указанных конструктивно-режимных параметров близок к характеру изменения крутящего момента, но с большей относительной интенсивностью. С увеличением скорости цепи со скребками необходимая приводная мощность растет во всем исследуемом диапазоне. При количестве скребков $N_c = 4$ увеличение скорости $V_{ц}$ с 0,1 до 0,3 м/с приводит к росту P с 1346,8 до 2974,6 Вт. Однако, при увеличении скорости цепи со скребками свыше 0,35 м/с интенсивность возрастания мощности снижается. Влияние на приводную мощность количества скребков носит квадратичный характер с точкой экстремума. При увеличении количества скребков мощность возрастает, достигает максимума при $N_c = 6$, а затем снижается. Увеличение количества скребков при скорости цепи $V = 0,21$ м/с с 4 до 6 приводит к росту необходимой приводной мощности с 1926,6 до 3531,6 Вт.

Характер полученной зависимости объясняется изменением крутящего момента. При увеличении скорости движения цепи со скребками увеличивается суммарная масса перемещаемых компонентов. Однако, при большой скорости скребков компоненты не успевают заполнить межскребковое пространство, и поэтому интенсивность роста мощности снижется. Увеличение количества скребков с 2 до 8, также увеличивает суммарную перемещаемую массу компонентов, на что требуются дополнительные затраты мощности. Если же количество скребков увеличивается более 8, то снижается полезный объем межскребкового пространства, уменьшается масса компонентов и, следовательно, снижаются необходимые затраты мощности.

Проведенный анализ полученных результатов позволил установить количество скребков $N_c = 6 \dots 7$ для цепочно-планчатого транспортера, при которых необходимая приводная мощность имеет максимальное значение

Влияние режимных параметров на мощность для привода шнекофрезерного питателя погрузчика-смесителя исследовалось по двухфакторному плану эксперимента. По результатам обработки экспериментальных данных получено уравнение степенной функции (4.10), адекватность описания которой результатов эксперимента оценивалась по F-критерию.

$$P_{шф} = 30690v^{2,61} + 22,8|\omega - 7,88v - 4,222|^{2,31} \quad (4.10)$$

Графически выражение (4.10) представлено на рис. 4.17 в виде поверхности отклика.

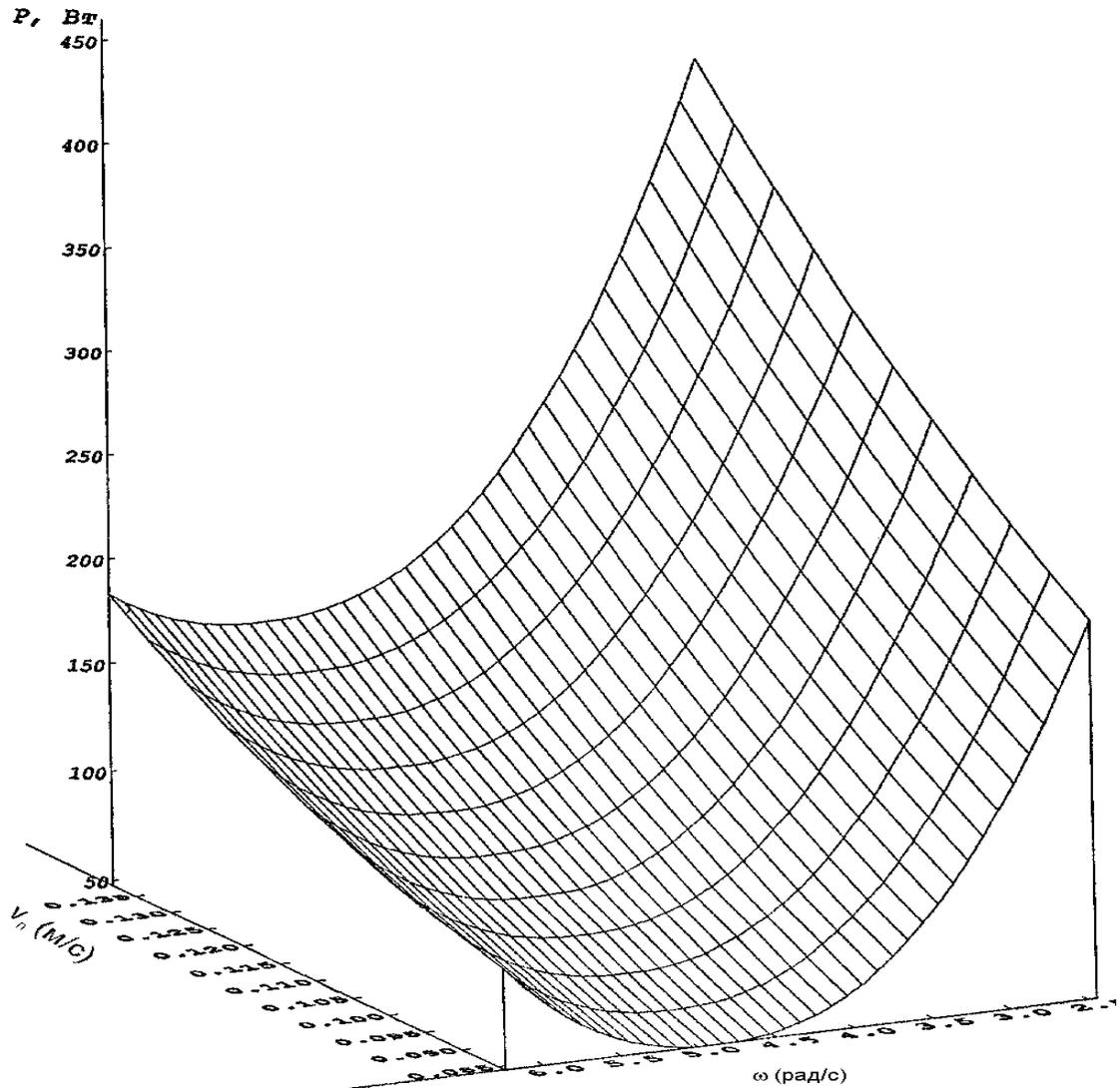


Рис. 4.17 – Поверхность отклика, отражающая зависимость мощности (P , Вт), необходимой для привода шнекофрезерного рабочего органа от поступательной скорости погрузчика-смесителя (v_n , м/с) и угловой скорости (ω , рад/с)

Изменение мощности привода шнекофрезерного рабочего органа определяется зависимостью крутящего момента T от режимных параметров погрузчика-смесителя: поступательной скорости машины в целом и угловой скорости рабочего органа. С увеличением угловой скорости крутящий момент снижается, однако,

это снижение происходит неравномерно. Снижение вначале интенсивное, затем менее значительное. Поэтому мощность, равная производству крутящего момента на угловую скорость вначале снижается, а затем возрастает по степенной функции (рисунок 4.18) Рост мощности при меньших значениях ω обусловлен резким возрастанием крутящего момента.

Анализ уравнения (4.10) и его графической интерпретации показывает, что существует область минимальных значений мощности. Минимум функции (4.10) достигается при $\omega = 7,88v+4,222$. Значение функции при этом: $P_{\text{шф}} = 30690v^{2,61}$. Изменение соотношения режимных параметров от приведенного соотношения приводит к росту мощности, затрачиваемой на смешивание компонентов тепличного грунта. Анализ нормальных сечений указывает на постоянный рост затрат мощности с ростом поступательной скорости во всем исследуемом диапазоне. Это связано с тем, что для определенного значения угловой скорости поступательная скорость может увеличиваться только до определенного значения, за которым весь поступающий материал не будет смешиваться и отгружаться рабочим органом погрузчика-смесителя. Далее материал будет скапливаться перед питателем, что приведет к более интенсивному росту мощности привода.

Полученные экспериментальные данные позволили установить влияние высоты слоя грунта и поступательной скорости на мощность, необходимую для движения машины при удалении грунта из помещения теплиц (приложение Д). Получены значения, по которым построено уравнение регрессии (4.11).

$$P = 6443,37 - 479,61 \cdot v - 84,651 \cdot h + 17413,2 \cdot v^2 + 162,321 \cdot v \cdot h + 0,377 \cdot h^2 \quad (4.11)$$

Графически данное уравнение представлено в виде трехмерной поверхности на рисунке 4.18.

Анализ полученной зависимости показывает, что мощность, затрачиваемая на привод машины, возрастает во всем исследуемом диапазоне скорости перемещения. Изменение мощности происходит по линейному закону, при этом интенсивность возрастает с увеличением высоты отделяемого слоя. При высоте отделяемого слоя грунта 60 мм увеличение скорости с 0,11 до 0,17 м/с приводит к росту мощности с 4043 до 4794 Вт, т.е. на 18,6 %.

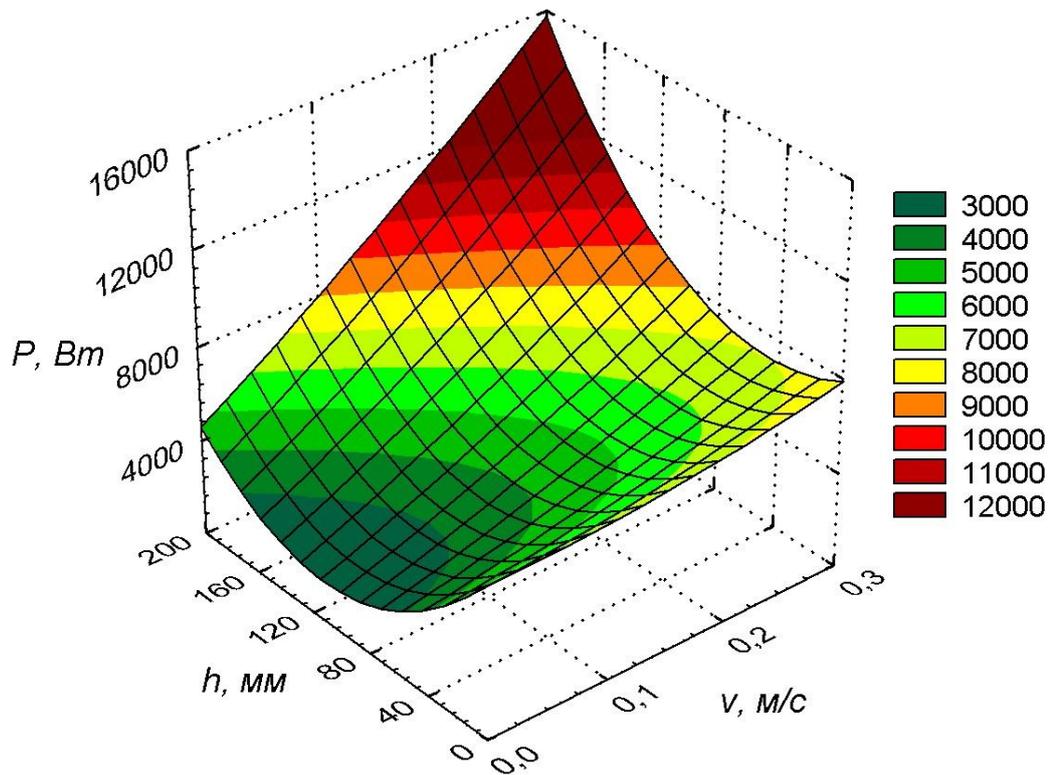


Рисунок 4.18 – Зависимость мощности, затрачиваемой на привод машины (P , Вт) от высоты слоя грунта (h , мм) и скорости перемещения машины (v , м/с)

При высоте слоя 100 мм увеличение скорости в указанном диапазоне приводит у росту мощности с 3983 до 4923 Вт, т.е. на 23,6 %.

Аналогичный характер изменения и при других значениях исследуемых параметров. Такое влияние исследуемых параметров связано с тем, что при увеличении, как скорости, так и высоты слоя возрастает перемещаемая масса, что увеличивает мощность необходимую для перемещения. Однако, изменение мощности от высоты слоя имеет не линейный характер. При небольшой высоте слоя мощность практически остается постоянной, при увеличении высоты слоя грунта более 80 – 100 мм начинает интенсивно возрастать. Уравнение регрессии и соответствующая ему графическая зависимость показывает отсутствие области оптимума. С увеличением исследуемых параметров необходимая приводная мощность возрастает. Полученные экспериментальные данные позволили установить влияние угла наклона поверхности отвала и скорости перемещения машины на мощность, необходимую для привода при удалении грунта из помещения теплиц. В

результате обработки получены значения, по которым построено уравнение регрессии (4.12).

$$P = 5740,316 + 18869,3 \cdot v - 291,654 \cdot \gamma - 13732,64 \cdot v^2 + 85,833 \cdot v \cdot \gamma + 5,438 \cdot \gamma^2 \quad (4.12)$$

Графически данное уравнение представлено в виде трехмерной поверхности на рисунке 4.19.

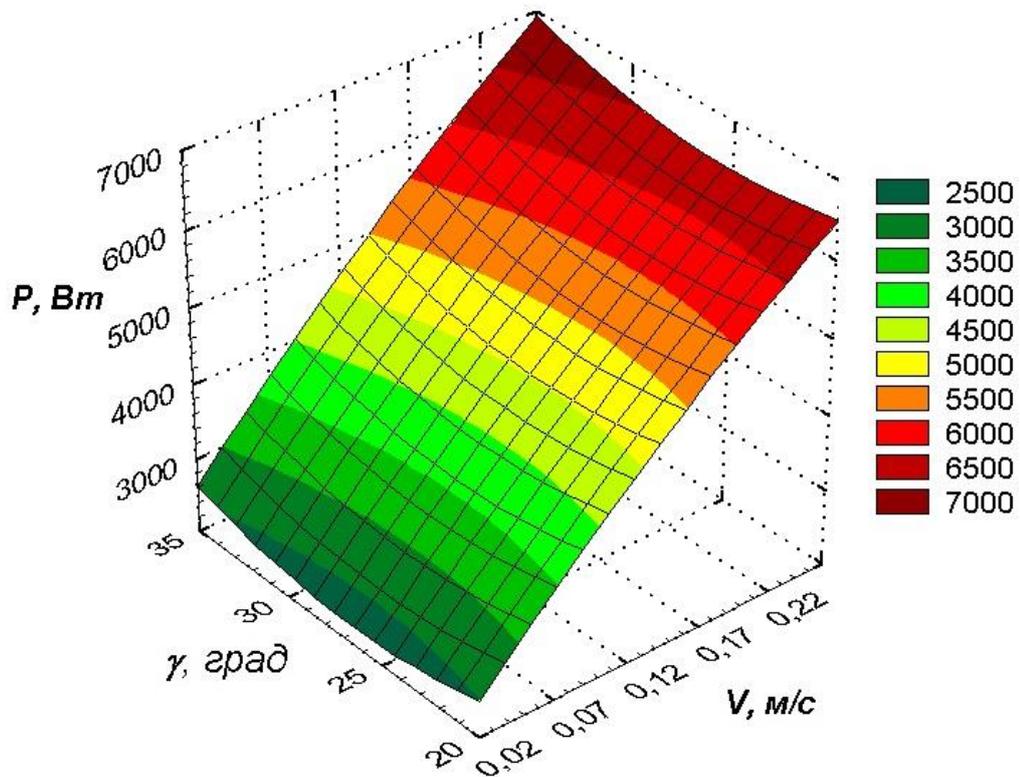


Рисунок 4.19 – Зависимость мощности, затрачиваемой на привод (P , Вт) от угла наклона поверхности отвала (γ , град) и скорости перемещения машины (v , м/с)

Анализ полученной зависимости от скорости движения машины показывает, что мощность возрастает во всем исследуемом диапазоне практически прямо пропорционально. Такое влияние связано с тем, что при увеличении скорости возрастает отделяемая и перемещаемая масса грунта, что увеличивает необходимую мощность. Согласно экспериментальным данным при угле наклона поверхности отвала 20 градусов увеличение скорости с 0,11 до 0,17 м/с приводит к росту мощности с 4189 до 4950 Вт. При угле наклона 30 градусов увеличение скорости в указанном диапазоне приводит к росту мощности с 4161 до 5007 Вт, то есть на 20,3 %.

Изменение мощности от угла наклона поверхности отвала γ имеет более выраженный нелинейный характер. Наименьшее значение мощность необходимая для работы машины имеет при угле 25 - 27 градусов. При меньших или больших углах наклона необходимая мощность возрастает.

Такой характер изменения мощности связан с изменением тягового усилия от угла наклона. При углах менее 25 градусов возрастает длина рабочей поверхности отвала, что приводит к росту пути перемещения отделенной массы грунта и, соответственно, к увеличению сил сопротивления движению машины. Также при углах больших 27 градусов происходит изменение характера взаимодействия отвала с отделяемым грунтом – часть его не движется по поверхности отвала, а скапливается перед ним, создавая дополнительные сопротивления, на что требуются дополнительные затраты мощности. При скорости движения машины 0,17 м/с увеличение угла наклона с 30 до 35 градусов приводит к росту необходимой мощности с 5007 до 5549 Вт.

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

4.2.4 Результаты исследований влияния конструктивно-режимных параметров на энергоемкость технологических машин для работы с тепличным грунтом и его компонентами

Наряду с производительностью качественным критерием, определяющим эффективность взаимодействия рабочих органов с тепличным грунтом и технологического процесса в целом, является энергоемкость. Полученные экспериментальные данные путем обработки методом наименьших квадратов [64,65], позволили построить уравнения регрессии и пространственные трехкоординатные зависимости (приложение Д).

Для комбинированного укладчика исследовалось влияние на энергоемкость угловой скорости ω (рад/с) и количества планок N дозирующих барабанов. Методом наименьших квадратов получено уравнение (4.13).

$$E = 2,3 + 0,3\omega - 0,652N - 0,0001562\omega^2 - 0,006N \cdot \omega + 0,035N^2 \quad (4.13)$$

Графически в виде пространственной трехкоординатной зависимости представлено на рисунке 4.20.

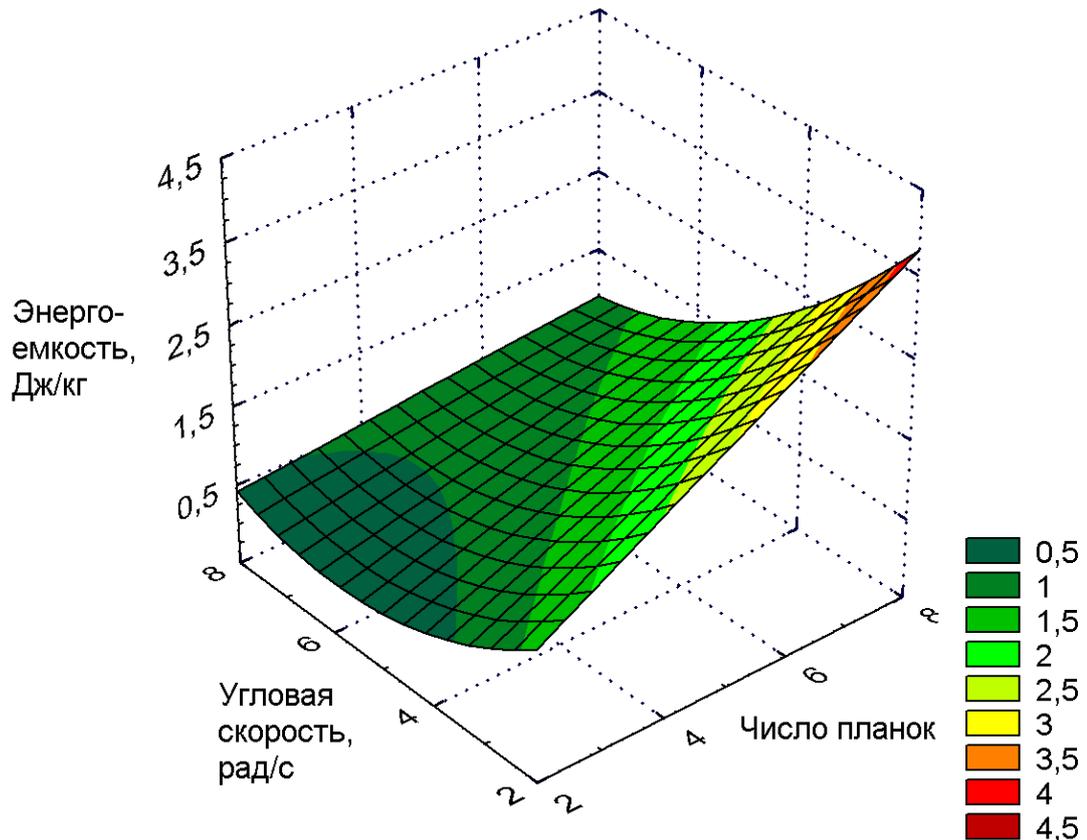


Рисунок 4.20 – Зависимость величины энергоемкости дозирующего барабана комбинированного укладчика (E , Дж/кг) от угловой скорости (ω , рад/с) и количества планок (N , шт.)

Анализ коэффициентов регрессии последнего уравнения показывает, что зависимость энергоемкости от числа планок дозирующего барабана – квадратичная с точкой минимума. Зависимость от его угловой скорости – практически прямо пропорциональная. Что подтверждается пространственной графической зависимостью на рисунке 4.20.

Линейный характер возрастания энергоемкости с увеличением числа планок связан с тем, что мощность возрастает, но незначительно (рисунок 4.15), а производительность после возрастания снижается (рисунок 4.7). Соотношение мощности и производительности обуславливает изменение энергоемкости. В тоже время рост угловой скорости приводит к росту энергоемкости с разной интенсивностью при разном числе планок. При малом числе планок ($N = 2$) увеличение угловой скорости вращения дозирующего барабана приводит к интенсивному росту энергоемкости, что связано с переполнением пространства между планками и соответственно ростом сопротивлений с увеличением скорости. С увеличением числа планок пространство между ними заполняется в меньшей степени и вращение барабана происходит с меньшими сопротивлениями.

По аналогичному алгоритму проведены исследования энергоемкости скребкового транспортера комбинированного укладчика. Исследовалось влияние скорости движения цепи со скребками v_u (м/с), так и количества скребков N_c (шт). Методом наименьших квадратов получено вероятностно – статистическое выражение (4.14). Графически выражение представлено на рисунке 4.21.

$$E = 369,898 - 659,24v_u - 23,045 N_c + 1328,423v_u^2 - 4,873v_u N_c + 2,134 N_c^2 \quad (4.14)$$

Анализ полученных экспериментальных данных и зависимостей показывает, что существует область значений как скорости движения цепи со скребками, так и количества скребков, при которых энергоемкость укладки компонента грунта минимальна. Минимальная энергоемкость достигается при скорости движения скребков $v_u = 0,31 \dots 0,34$ (м/с) и их количестве 6...7 для данной длины транспортера. Увеличение или уменьшение скорости цепи со скребками или их количества приводит к росту энергоемкости укладки компонентов грунта.

По экспериментальным данным увеличение скорости движения цепи со скребками с 0,129 м/с до 0,198 м/с приводит к снижению энергоемкости с 232 Дж/кг до 218 Дж/кг ($N_c = 6$), а дальнейшее увеличение скорости до 0,32 м/с вызывает увеличение E до 258 Дж/кг.

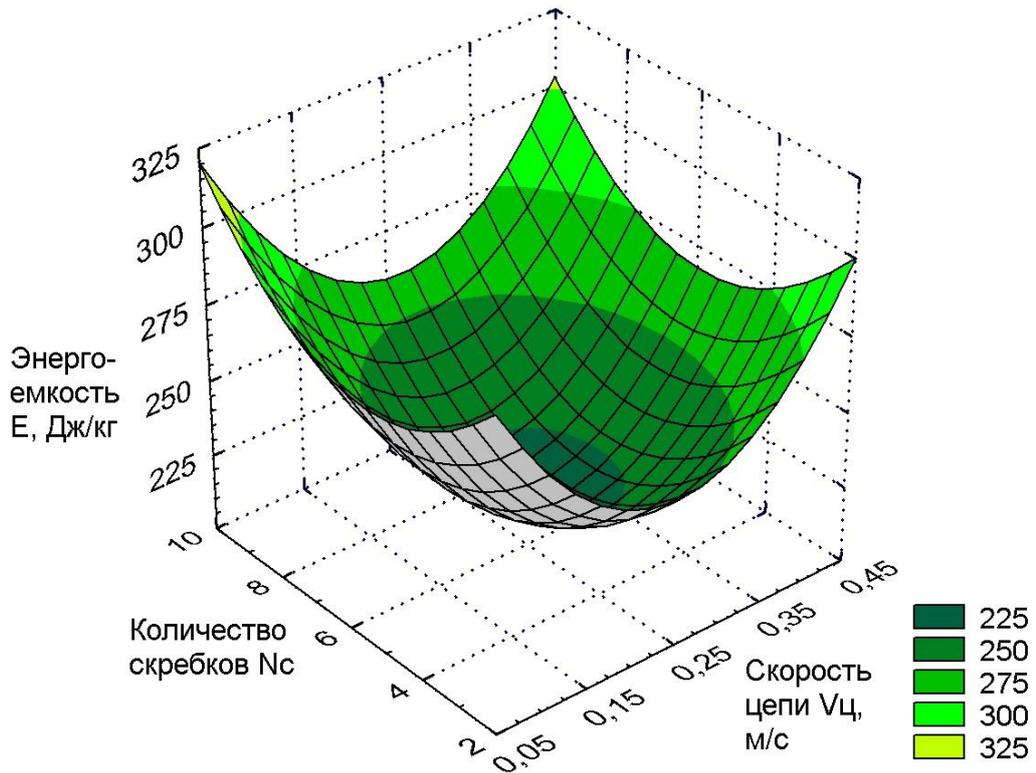


Рисунок 4.21 – Влияние скорости цепи ($v_{ц}$, м/с) и количества скребков (N_c , шт.) на энергоемкость (E , Дж/кг) укладки компонента тепличного грунта цепным транспортером комбинированного укладчика

Исследовано влияние режимов работы – поступательной и угловой скорости на энергоемкость шнекофрезерного рабочего органа погрузчика-смесителя. В результате обработки данных опытов получена степенная функция адекватно их описывающая:

$$E = 46196 \cdot v^{2,59} + 37,1|\omega - 7,91v - 4,199|^{2,06}. \quad (4.15)$$

На рисунке 4.22 представлена соответствующая поверхность с двух мерными сечениями. Минимум функции достигается при $\omega = 7,91v + 4,199$; значение энергоемкости при этом составляет $E = 46196v^{2,59}$.

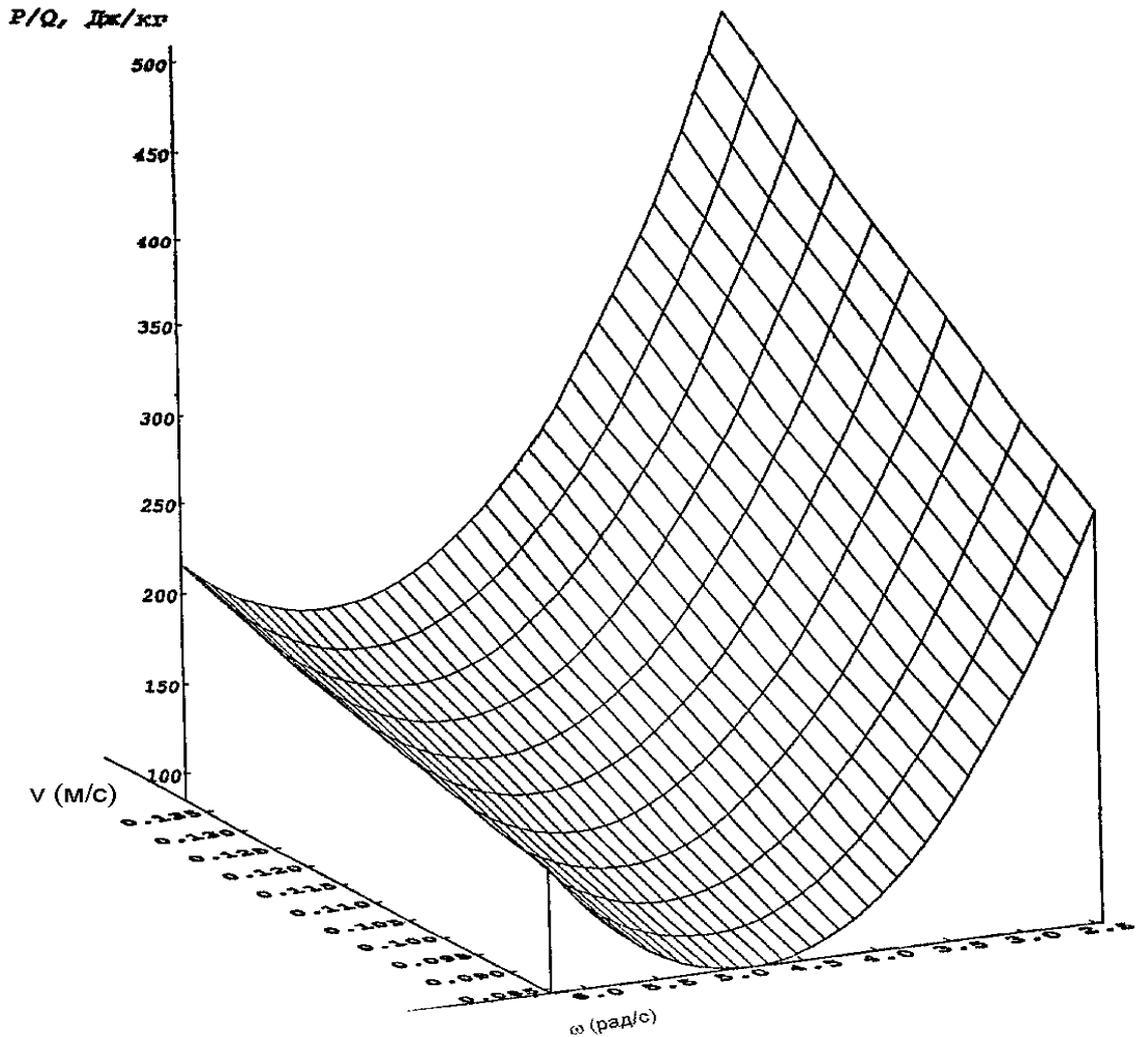


Рисунок 4.22 – Зависимость энергоёмкости шнекофрезерного рабочего органа погрузчика-смесителя (E , Дж/кг) от угловой скорости (ω , рад/с) и поступательной скорости машины (v , м/с)

Степенная функция (4.15) и рисунок 4.22 показывают наличие оптимальных значений угловой скорости рабочего органа для каждой поступательной скорости погрузчика-смесителя. Минимальная энергоёмкость достигается при значениях угловой 4,5...5,5 рад/с скорости. Рабочее значение поступательной скорости соответствует 0,1...0,12 м/с. При больших значениях поступательной скорости энергоёмкость существенно возрастает.

Проведены исследования энергоёмкости машины для удаления санитарного слоя тепличного грунта и установлено влияние на нее основных факторов. Энергоёмкость удаления грунта определяется закономерностями изменения приводной мощности и производительности процесса (приложение Д). В результате

обработки экспериментальных данных получена вероятностно-статистическая модель второго порядка (4.16).

$$E = 1648,127 - 2786,11v - 14,116h + 8923,61v^2 + 2,625vh + 0,051h^2 \quad (4.16)$$

Графическое отображение модели (4.16) представлено на рисунке 4.23. Все коэффициенты в модели являются статистически значимыми, зависимость носит квадратичный характер с наличием области экстремума, что подтверждается графическим отображением. Как для поступательной скорости, так и для высоты слоя существуют значения, при которых энергоемкость удаления грунта из теплицы минимальна. Для поступательной скорости оптимальные значения составляют 0,14 – 0,16 м/с. Рациональная высота удаляемого слоя грунта составляет 0,13 – 0,15 м, что соответствует толщине санитарного слоя грунта в теплицах. За диапазоном данных значений энергоемкость возрастает.

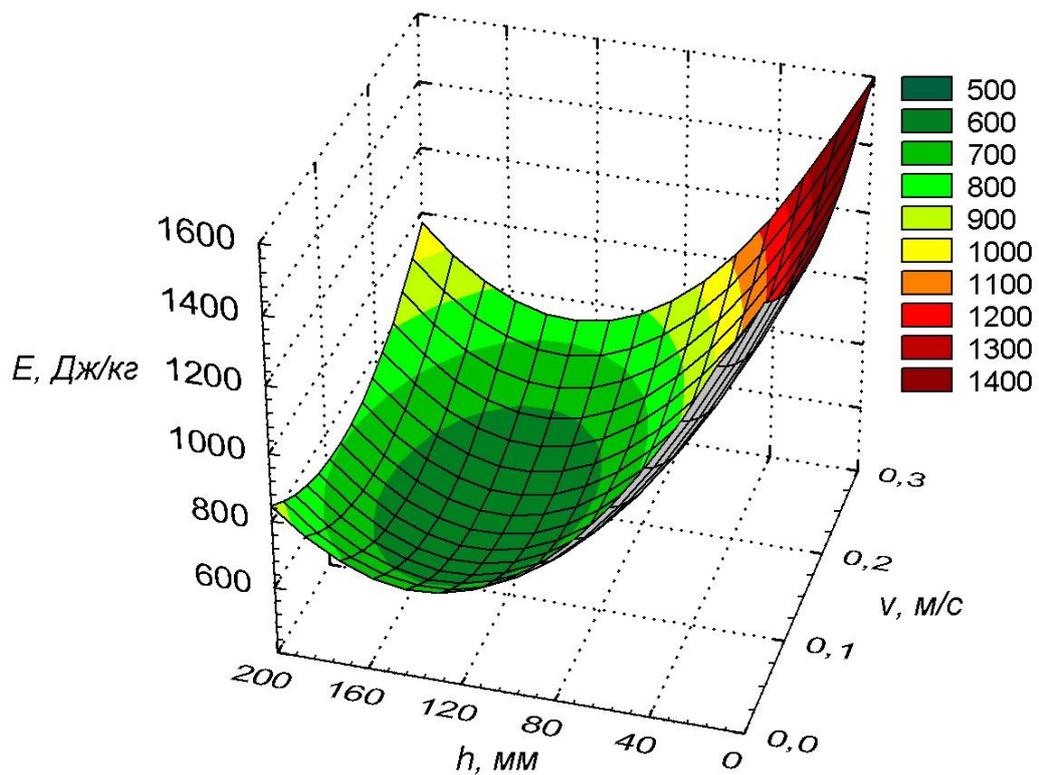


Рисунок 4.23 – Зависимость энергоемкости процесса удаления грунта (E , Дж/кг) от высоты слоя (h , мм) и поступательной скорости машины (v , м/с)

Такой характер изменения энергоемкости обусловлен влиянием изменения производительности и приводной мощности. При поступательной скорости ма-

шины менее 0,1 м/с производительность машины значительно уменьшается (рисунок 4.14), однако мощность для привода остается практически такой же или снижается менее интенсивно (рисунок 4.19), что приводит к росту энергоемкости. С другой стороны, при увеличении скорости более 0,15 м/с рост необходимой мощности привода происходит более интенсивно, чем рост производительности, что также обуславливает увеличение энергоемкости. Согласно экспериментальным данным, при скорости машины 0,17 м/с и высоте удаляемого слоя 140 мм энергоемкость процесса составляет 507 Дж/кг. С ростом скорости машины до 0,23 м/с энергоемкость возрастает до 598 Дж/кг. В тоже время снижение скорости до 0,05 м/с приводит к ее возрастанию до 585 Дж/кг. Аналогичная зависимость имеет место и при изменении высоты удаляемого слоя. При высоте снимаемого слоя 180 мм и выше указанной скорости энергоемкость возрастает до 596 Дж/кг. Уменьшение высоты слоя до 60 мм приводит к росту энергоемкости до 799 Дж/кг. Изменение энергоемкости обусловлено влиянием исследуемых параметров на мощность, необходимую для привода и производительность машины.

Таким образом, рациональные по энергоемкости значения поступательной скорости машины при удалении грунта и высоты удаляемого слоя составляют соответственно 0,12 – 0,17 м/с и 0,13 – 0,15 м.

Вторым двухфакторным экспериментом исследовалось влияние поступательной скорости машины и угла наклона поверхности отвала на энергоемкость процесса E (Дж/кг).

По результатам второго двухфакторного эксперимента получены данные для энергоемкости процесса удаления из теплиц санитарного слоя грунта от угла наклона поверхности отвала и поступательной скорости машины. В результате обработки получено уравнение регрессии (4.17) и двумерная поверхность отклика (рисунок 4.24).

$$E = 2107,39 - 2563,416v - 114,021\gamma + 8489,583v^2 - 3,3v\gamma + 2,342\gamma^2 \quad (4.17)$$

Анализ уравнения регрессии (4.17) и соответствующей ему графической интерпретации показывает, что существует область оптимальных значений, при которых энергоемкость процесса минимальна. Математическое и графическое

решение уравнения регрессии позволяет определить диапазон значений параметров соответствующих минимальной энергоемкости.

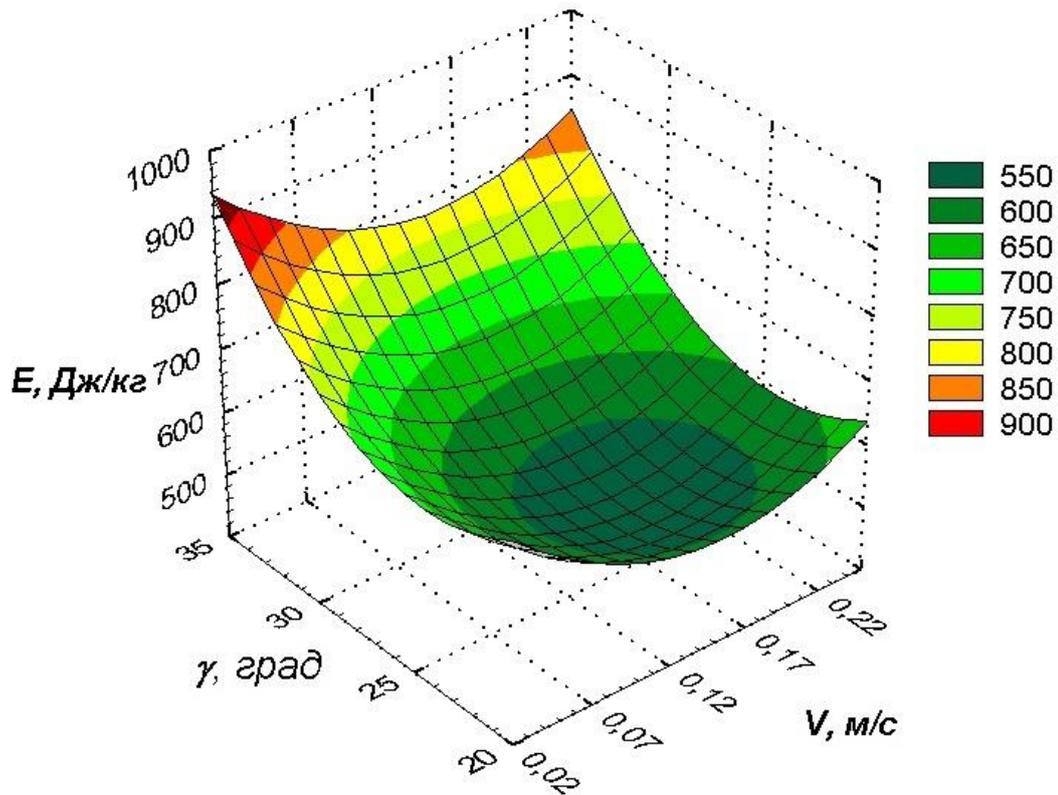


Рисунок 4.24 – Зависимость энергоемкости удаления грунта (E , Дж/кг) от угла наклона поверхности отвала (γ , град.) и поступательной скорости (v , м/с)

Уменьшение или увеличение исследуемых параметров от значений области оптимума приводит к росту энергоемкости. Для поступательной скорости значения, при которых энергоемкость процесса минимальна, составляют 0,15-0,16 м/с. Оптимальный угол наклона поверхности отвала составляет 24-25 градусов.

Энергоемкость является функцией производительности и приводной мощности, показывающей затраты энергии на единицу массы отделенной и погруженной части грунта. Увеличение мощности при одной и той же производительности приводит к росту энергоемкости. Увеличение производительности при одной и той же мощности приводит к снижению энергоемкости. Поэтому, при меньших значениях поступательной скорости производительность машины значительно уменьшается, однако, мощность для привода остается практически та-

кой же или снижается незначительно, что приводит к росту энергоемкости. С другой стороны, при скорости выше оптимального диапазона рост мощности для выполнения рабочего процесса происходит более интенсивно, чем рост производительности, что также обуславливает увеличение энергоемкости. Влияние угла наклона поверхности отвала на энергоемкость также велико. При углах γ менее 20 градусов производительность практически неизменна, однако мощность привода растет за счет увеличения длины перемещения отделенного грунта по поверхности отвала. При этом увеличиваются сопротивления от сил трения и взаимодействия. При углах наклона более 26-30 градусов происходит некоторое снижение производительности за счет смещения части отделенного грунта обратно к основному слою. Одновременно происходит значительный рост мощности, поскольку в работе машины появляется «бульдозерный» эффект, при котором часть грунта сталкивается впереди рабочих поверхностей. По мере увеличения угла наклона все более значительная масса грунта не попадает на отгрузочный транспортер. При угле наклона 25 градусов и скорости 0,17 м/с энергоемкость работы составляет 518 Дж/кг. Уменьшение угла до 20 градусов приводит к росту энергоемкости до 550 Дж/кг. В то же время увеличение угла наклона поверхности отвала до 30 градусов приводит к росту энергоемкости до 569 Дж/кг. При значении угла $\gamma = 35$ градусов энергоемкость составляет уже 760 Дж/кг.

В результате проведения двухфакторного эксперимента по исследованию влияния на силовые и качественные критерии угла наклона поверхности отвала и поступательной скорости машины при удалении грунта установлены рациональные значения: $\gamma = 24 - 25$ градусов и $v = 0,12 - 0,17$ м/с соответственно.

4.2.5 Результаты исследований влияния конструктивно-режимных параметров на критерии эффективности технологических машин для работы с тепличным грунтом и его компонентами

Критерии эффективности технологических машин для работы с тепличным грунтом для различных технологических операций также различны. Наряду с

производительностью и энергоемкостью необходимо оценивать качество выполнения технологической операции. Для укладки компонентов тепличного грунта необходимо оценивать объемное или массовое соотношение каждого компонента. Для процесса смешивания важнейшее значение имеет равномерное распределение компонентов в полученном готовом тепличном грунте.

Оценку неравномерности укладки компонентов тепличного грунта комбинированным укладчиком наиболее просто и точно проводить измерением неравномерности высоты уложенного слоя. Поскольку другие геометрические параметры – ширина захвата, длина укладки равны для всех компонентов, то высота слоя будет отражать объемное соотношение компонентов в укладке. Исследуя влияние параметров рабочих органов комбинированного укладчика на высоту слоя можно определить их рациональные значения.

Для цепного транспортера комбинированного укладчика исследовалось влияние количества (приложение Е). Их количество составляло скребков от 2 до 8. Результаты исследований представлены на рисунке 4.25.

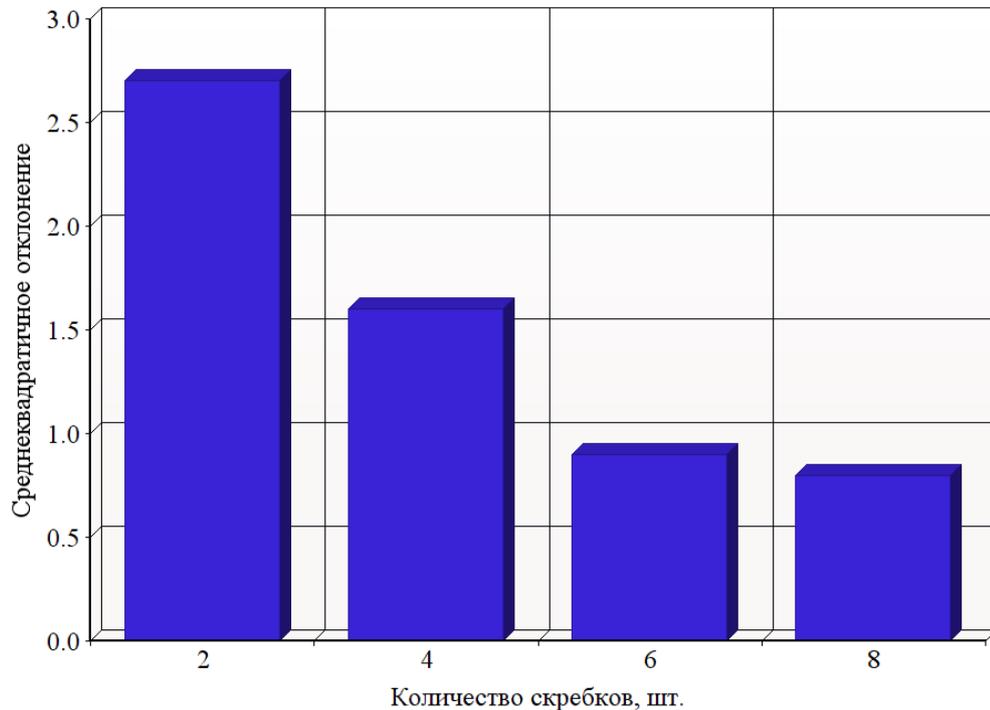


Рисунок 4.25 – Диаграмма зависимости значений среднеквадратичного отклонения высоты слоя компонента, уложенного цепным транспортером комбинированного укладчика от количества скребков цепного транспортера

Важнейшим фактором, влияющим на равномерность укладки материала дозирующими барабанами, является число установленных планок. В исследованиях их количество планок составляло от 2 до 8. Графически, результаты эксперимента (приложение Е) представлены на рисунке 4.26.

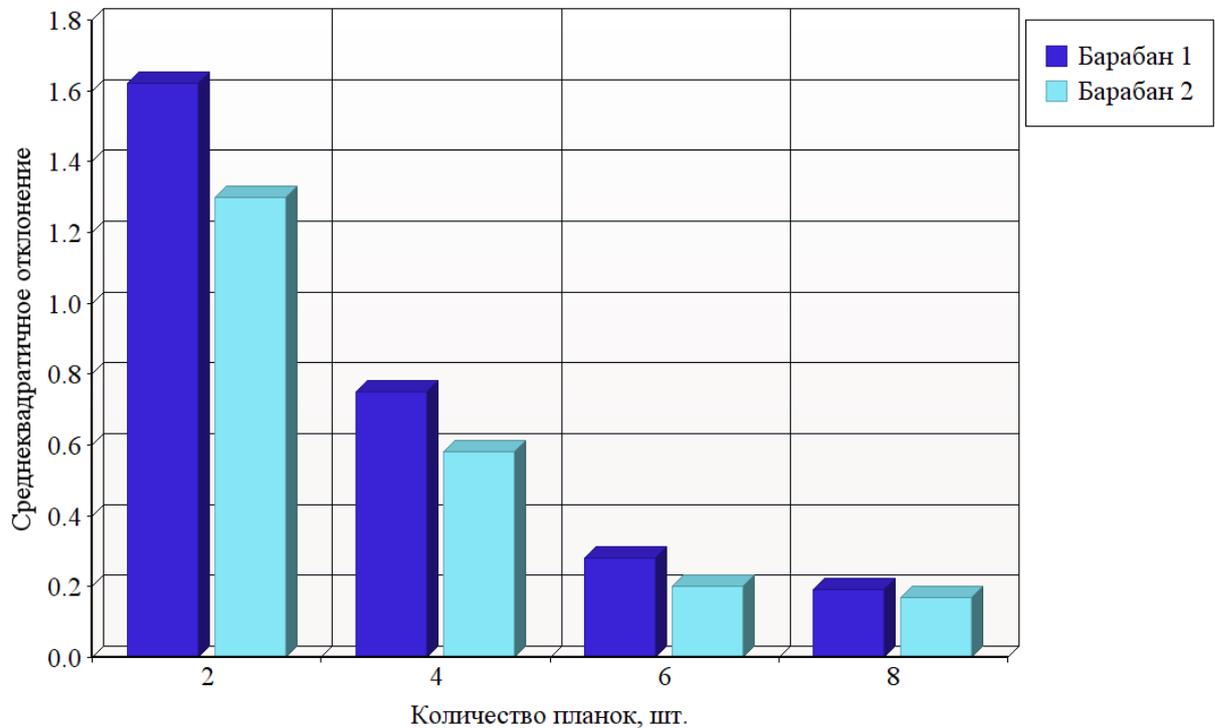


Рисунок 4.26 – Диаграмма зависимости среднеквадратичного отклонения высоты уложенного слоя компонента, уложенного барабанами комбинированного укладчика, от количества планок барабана

При параметрах, соответствующих максимальной производительности среднеквадратичное отклонение высоты слоев составляет менее 5 %, чем обеспечивается требуемое качество укладки.

Критериями оптимизации в исследованиях качества смешивания тепличного грунта погрузчиком-смесителем являлись – коэффициент степени смешивания, влагоёмкость и воздухоёмкость грунта. На данные показатели значительное влияние оказывает форма зубьев шнекового рабочего органа. Коэффициент степени смешивания показывает равномерность распределения в тепличном грунте одного из компонентов, по которому можно судить о распределении всех компонентов.

Результаты исследований коэффициента степени смешивания в виде диаграммы представлены на рисунке 4.27.

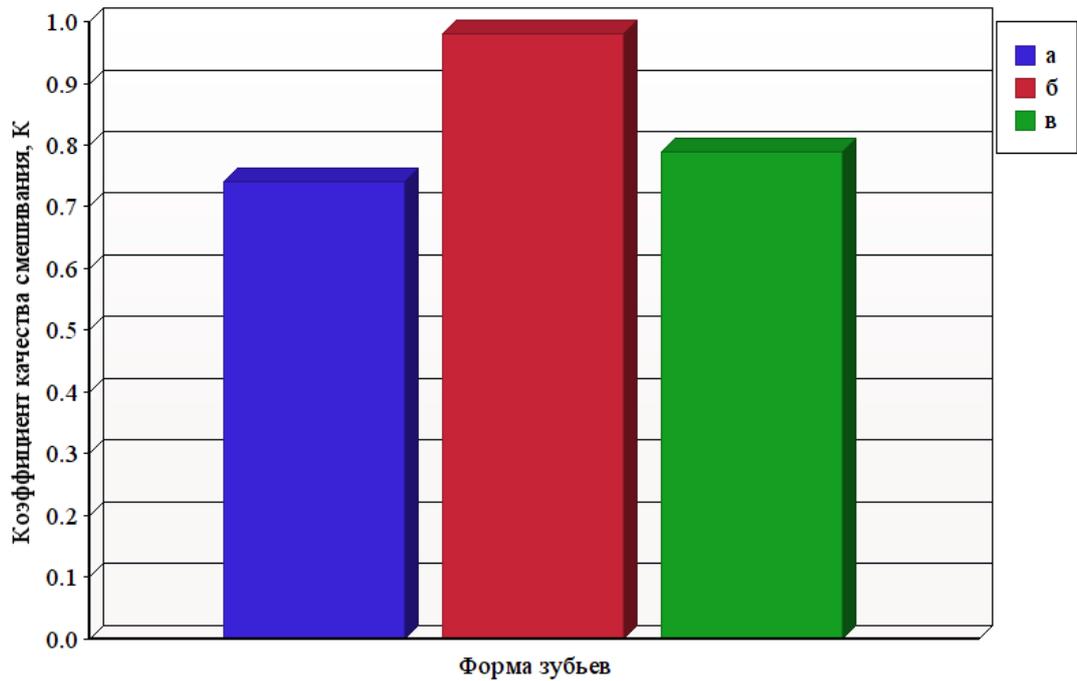


Рисунок 4.27 – Диаграмма зависимости коэффициента качества смешивания компонентов тепличного грунта от различной формы зубьев рабочего органа: а – треугольная, установленная перпендикулярно к радиусу шнека; б – криволинейная в виде сферического треугольника; в – треугольная, установленная под углом наклона к радиусу

Степень смешивания тепличного грунта в значительной степени определяется характером взаимодействия с зубьями рабочего органа погрузчика-смесителя. Важное значение имеет длительность взаимодействия и траектория движения частиц при взаимодействии с рабочей поверхностью зубьев. При плоской форме рабочей поверхности зубьев взаимодействие происходит в основном с передней кромкой, траектория движения отделенных частиц практически не меняется. При криволинейной форме в виде сектора цилиндрической поверхности контакт с частицами происходит со всей рабочей поверхностью зубьев, при этом частицы меняют траекторию движения с прямолинейной на криволинейную. Поэтому происходит дополнительное крошение и смешивание до вступления в работу винтовой поверхности шнеков. Шнек дополнительно перемешивает получае-

мый тепличный грунт. Поэтому наибольший коэффициент степени смешивания достигается при форме зубьев соответствующей рис 4.28, б. Величина коэффициента смешивания компонентов смеси составила от 0,94 до 0,96, что выше агротехнических требований.

Влагоёмкость и воздухоёмкость также являются важнейшими показателями качества тепличного грунта. Агротехническими требованиями установлена величина влагоемкости – 40 % и более; воздухоёмкости 25 % и более. Воздействие зубьев на компоненты тепличного грунта позволяет увеличить оба этих показателя за счет разукрупнения частиц и наличия воздуха между ними. Исследование влияния формы зубьев показало значительное влияние как на влагоёмкость (рисунок 4.28), так и на воздухоёмкость (рисунок 4.29). Однако влияние формы зубьев на воздухоёмкость более значительно, что связано с особенностями физико-механических свойств используемых материалов – чернозема, навоза, торфа. В результате экспериментальных исследований установлено, что величина воздухоёмкости и влагоемкости для второй и третьей формы зубьев соответствуют агротехническим требованиям, предъявляемым к тепличному грунту. Помимо формы зубьев значительное влияние на исследуемые показатели оказывает угловая скорость рабочего органа. Однако исследованиями установлено, что вышеуказанные технологические значения воздухоёмкости и влагоемкости достигаются при всех значениях угловой скорости в исследуемом диапазоне, начиная с 3,5 рад/с. Это связано с тем, что шнековый рабочий орган воздействием винтовой поверхности при транспортировании материала обеспечивает взаимное перемещение и перемешивание компонентов.

Таким образом, в результате исследований установлено, что погрузчик-смеситель со шнековым рабочим органом для достижения агротехнических требований тепличного грунта должен быть оснащен режущими зубьями криволинейной формы в виде сектора цилиндрической поверхности. Угловая скорость должна составлять не менее 3,5 рад/с. В этом случае влагоёмкость и воздухоёмкость составляют 51% и 48 % соответственно, коэффициент степени смешивания составляет от 0,94 до 0,96.

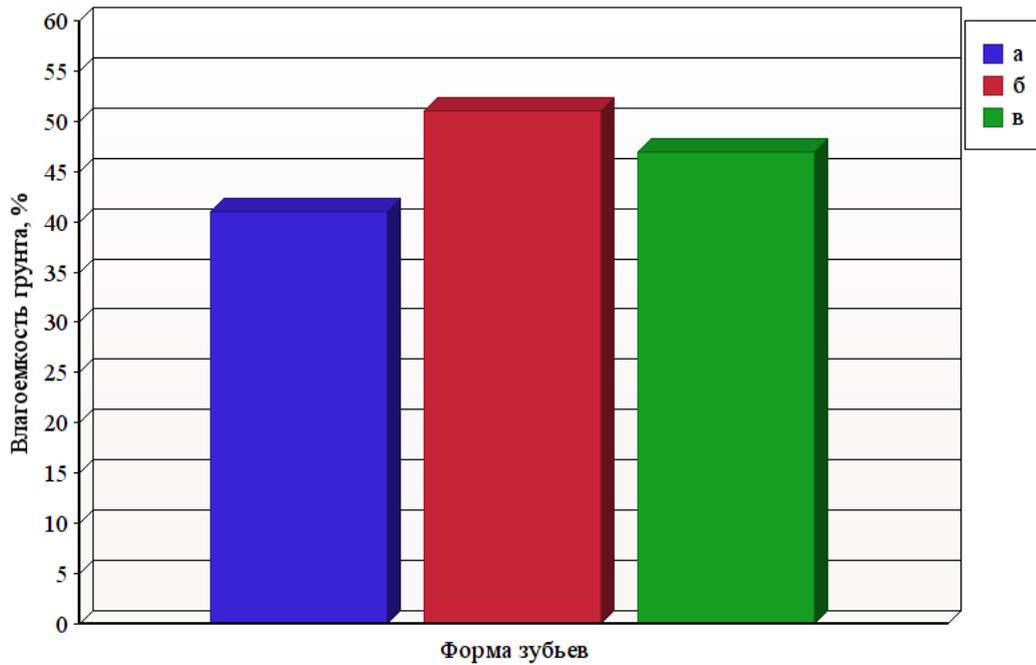


Рисунок 4.29 – Диаграмма зависимости влагоемкости тепличного грунта от различной формы зубьев рабочего органа: а – треугольная, установленная перпендикулярно к радиусу шнека; б – криволинейная в виде сферического треугольника; в – треугольная, установленная под углом наклона к радиусу

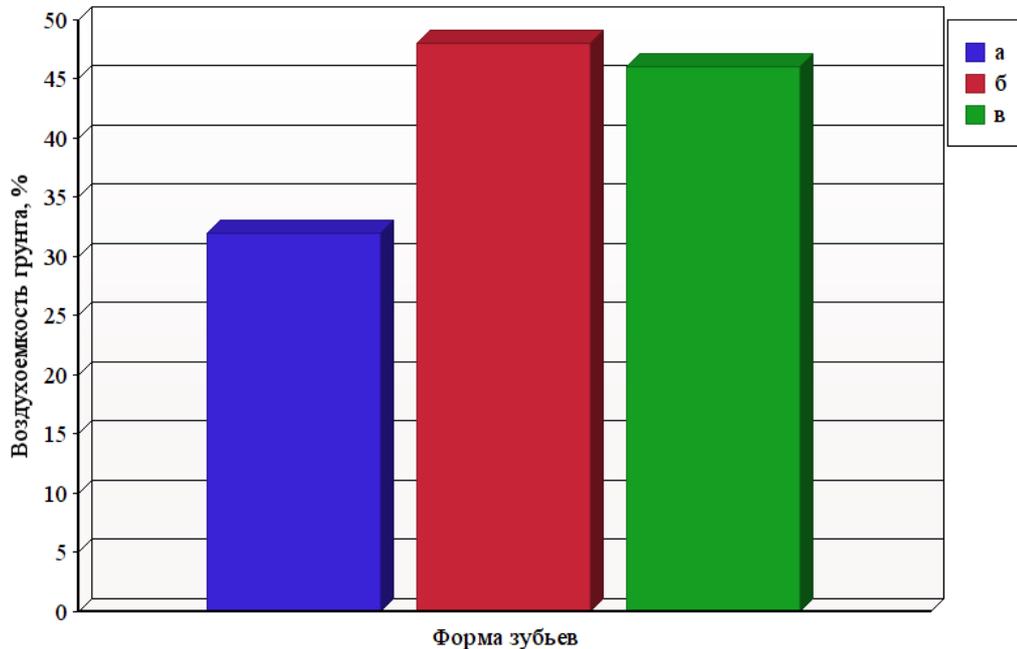


Рисунок 4.30 – Диаграмма зависимости воздухоёмкости тепличного грунта от различной формы зубьев рабочего органа: а – треугольная, установленная перпендикулярно к радиусу шнека; б – криволинейная в виде сферического треугольника; в – треугольная, установленная под углом наклона к радиусу

Помимо формы зубьев основным фактором, влияющим на качество смешивания, является их количество. Качество смешивания оценивается коэффициентом K , показывающим степень смешивания компонентов (глава 3). Количество зубьев, установленных на шнековом рабочем органе погрузчика-смесителя, может быть различным. Для обоснования рационального их количества во взаимодействии с частотой вращения рабочего органа проведены экспериментальные исследования, результаты которых представлены уравнением регрессии (4.18) и трехмерной поверхностью (рисунок 4.30):

$$K=0,005398A-1,03322E-0,5A^2+0,01075326B-0,0002269B^2+0,15216609. \quad (4.18)$$

Анализ результатов исследований показывает нелинейное влияние количества зубьев (фактор B) при любых значениях частоты вращения рабочего органа (фактор A). При рабочем органе без установки зубьев коэффициент смешивания снижается до значений меньших требований к тепличному грунту.

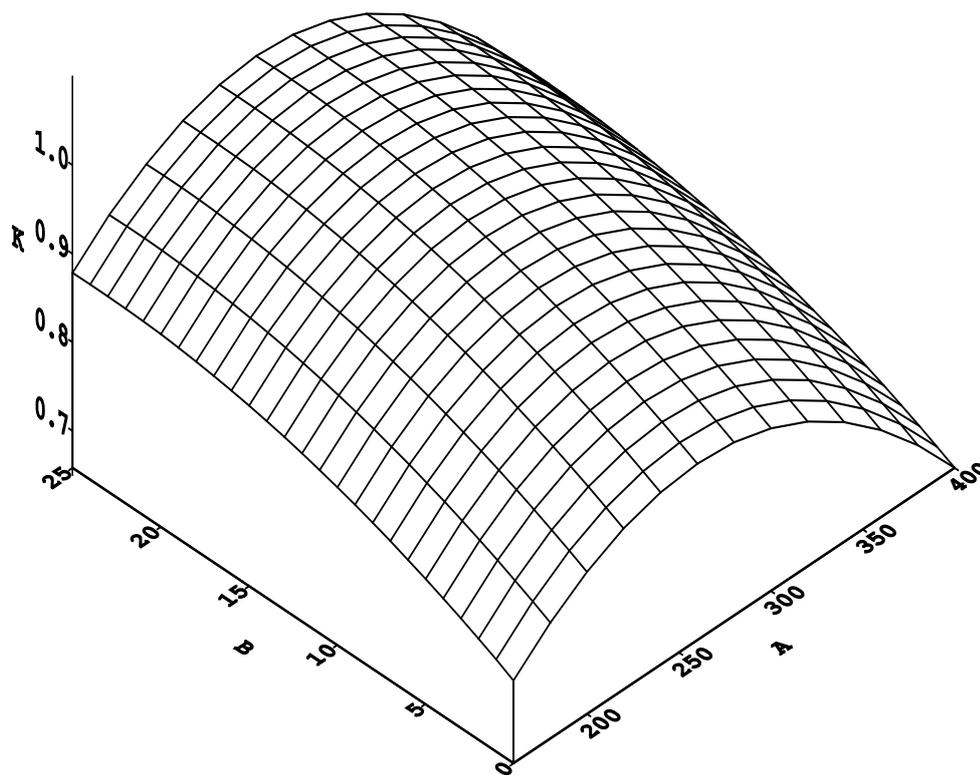


Рисунок 4.30 – Зависимость коэффициента смешивания K от количества зубьев B (z , шт.) и частоты вращения шнекофрезерного рабочего органа A (n , об/мин)

Наличие зубьев на рабочем органе значительно улучшает процесс перемешивания компонентов тепличного грунта. С увеличением количества зубьев коэффициент смешивания возрастает и достигает максимального значения при количестве зубьев, установленных по всей ширине захвата, но без наложения их проекций на осевую вертикальную плоскость. При установке зубьев с наложением проекций коэффициент смешивания не увеличивается, т.е. качество смешивания остается практически неизменным. Для данного шнека максимальное количество зубьев составляет $z_{\max} = 27$, коэффициент смешивания составил $K = 0,978$, что соответствует требованиям к тепличному грунту. При наличии зубьев на шнековом рабочем органе происходит эффективное отделение и измельчение компонентов, что позволяет лучше перемешивать их зубьями и винтовой поверхностью. Изменение коэффициента смешивания от частоты вращения рабочего органа носит несколько другой характер – имеет место точка экстремума или максимальных значений. Максимального значения K достигает при $n = 290 \dots 310$ (об/мин). Рост коэффициента смешивания при увеличении частоты вращения с 150 до 260 (об/мин) объясняется увеличением степени измельчения компонентов тепличного грунта. Однако, при росте частоты вращения свыше диапазона экстремума функции происходит увеличение ударных воздействий рабочего органа на компоненты. Материал отбрасывается рабочим органом, что ухудшает перемешивание. Коэффициент K снижается. При частоте вращения шнекового рабочего органа 172 об/мин коэффициент смешивания равен 0,889. Увеличение частоты вращения до 224 об/мин позволяет увеличить коэффициент до 0,961. Максимальное значение $K = 0,978$ получено при 301 об/мин, но при $n = 392$ об/мин K снизился до 0,819.

Далее исследовано влияние количества зубьев и частоты вращения рабочего органа на влагоёмкость W_l (%) тепличного грунта. Влагоёмкость показывает соотношение массы влаги к массе почвы, в которой она содержится. Экспериментальные данные по влагоёмкости получены с использованием замеров агрохимической лаборатории АО «Совхоз-Весна» (приложение К).

В результате экспериментов получено уравнение регрессии (4.19), адекватность уравнения регрессии экспериментальным данным проверялась по критерию Фишера:

$$W_1 = 0,020706 \cdot A + 0,000031333 \cdot A^2 + 0,341666 \cdot B + 0,0083333 \cdot B^2 + 33,55472, \quad (4.19)$$

где A – частота вращения рабочего органа; B – количество зубьев.

Зависимость влагоемкости тепличного грунта от факторов A и B в графическом виде представлена на рисунке 4.31.

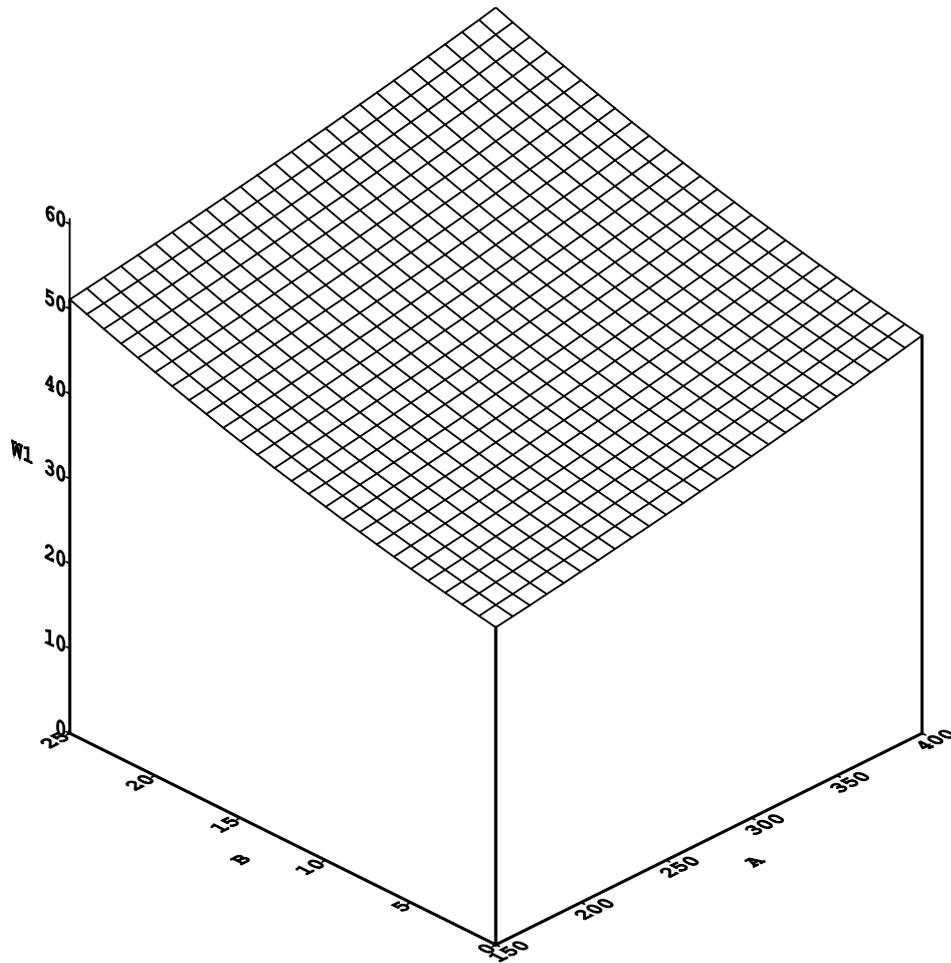


Рисунок 4.31 – Влияние частоты вращения рабочего органа погрузчика-смесителя A (n, об/мин) и количества, установленных на нем зубьев B (z, шт.), на величину влагоемкости W_1 (%) готового тепличного грунта

Обработка полученных данных позволяет сделать вывод об увеличении влагоемкости тепличного грунта с ростом обоих исследуемых факторов. При ко-

личестве зубьев 16 и частоте вращения рабочего органа 289 об/мин $W_1 = 51 \%$. С увеличением количества зубьев до 24 влагоёмкость тепличного грунта возрастает до 59 %. Аналогичная зависимость имеет место от частоты вращения рабочего органа. Например, по результатам опытов увеличение фактора A с 289 до 379 об/мин и факторе B равном 15 приводит к росту W_1 с 48 до 53 %. Возрастание влагоёмкости при росте обоих исследуемых факторов связано с увеличением степени измельчения и пористости тепличного грунта. Пористость уменьшает плотность тепличного грунта, а пространство между частицами увеличивается, благодаря чему тепличный грунт вмещает большее количество влаги. Влагоёмкость, установленная агротехническими требованиями на тепличный грунт, составляет 45...50 % и достигается при числе зубьев более 12 и частоте вращения более 250 об/мин.

Исследовано влияние количества зубьев и частоты вращения рабочего органа на воздухоёмкость W_2 (%). В результате получено уравнение регрессии (4.20):

$$W_2 = 0,031047 \cdot A + 0,00003818 \cdot A^2 + 0,2423 \cdot B + 0,001852 \cdot B^2 + 13,2038 \quad (4.20)$$

Графическая интерпретация уравнения представлена на рисунке 4.32. Воздухоёмкость показывает соотношение объема пор, содержащих воздух к общему объему тепличного грунта при влажности соответствующей наименьшей влагоёмкости (глава 3). Анализ результатов эксперимента показывает, что с увеличением обоих исследуемых факторов воздухоёмкость образующегося тепличного грунта улучшается. Наибольшая воздухоёмкость получена при максимальном количестве зубьев, установленных на рабочем органе и при наибольшей его частоте вращения.

Совместный анализ результатов экспериментальных исследований для шнекового рабочего органа диаметром 0,6 м погрузчика-смесителя тепличного грунта установить рациональные параметры: частота вращения $n = 290...300$ (об/мин), количество зубьев $z = 24$, что соответствует максимальной производительности и наилучшему качеству смешивания. Значения воздухоёмкости и вла-

гоемкости также соответствуют требованиям, к тепличному грунту (воздухоёмкость 25 %, влагоёмкость 40 %).

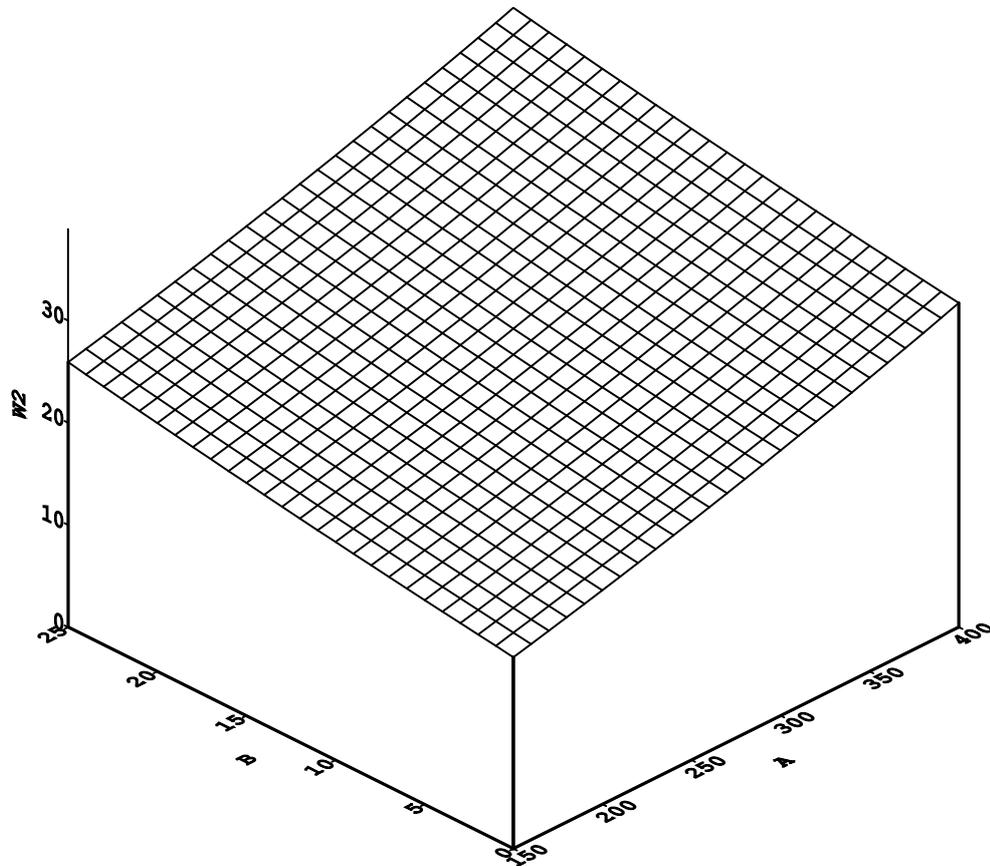


Рисунок 4.32 – Влияние частоты вращения рабочего органа погрузчика-смесителя A (n , об/мин) и количества зубьев B (z , шт.) на воздухоёмкость W_2 (%) готового тепличного грунта

Таким образом, в результате реализации программы экспериментов исследован комплекс наиболее значимых конструктивных, режимных и эксплуатационных факторов рабочих органов технологических машин для приготовления, использования и удаления тепличного грунта. Подтверждены результаты теоретических исследований, экспериментально проверена достоверность полученных аналитических зависимостей. Обоснованы рациональные исследуемых параметров, соответствующих наибольшей эффективности применения предлагаемых рабочих органов.

4.3 Сходимость результатов экспериментальных исследований с теоретическими положениями

Достоверность результатов теоретических и экспериментальных исследований подтверждается их сходимостью. Величины параметров, полученные в результате расчетов по аналитическим выражениям и уравнениям регрессии, должны совпадать или не превышать заданного предельного отклонения, которое составляет для наших условий 5 % [141]. На рисунках 4.33, 4.34 приведены графические зависимости энергоемкости цепного транспортера комбинированного укладчика при различной скорости движения цепи и количестве установленных скребков и энергоемкости дозирующего барабана комбинированного укладчика от количества планок, при различной угловой скорости.

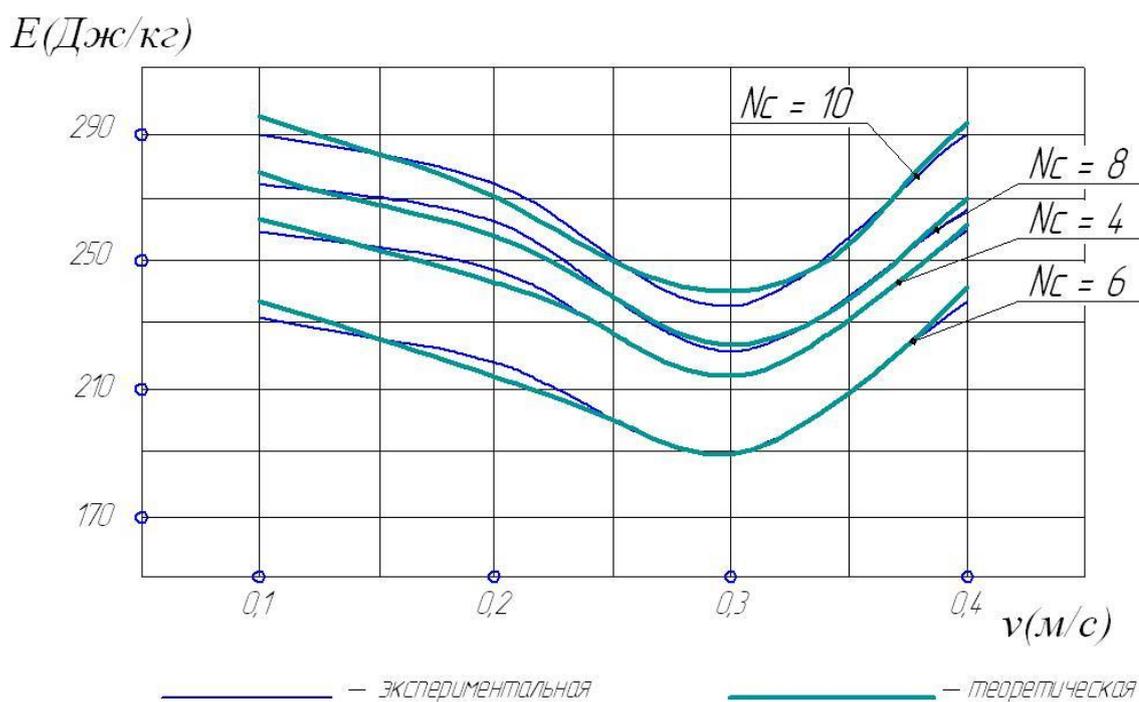


Рисунок 4.33 – Сходимость теоретической и экспериментальной зависимостей энергоемкости цепного транспортера комбинированного укладчика от скорости движения цепи, при различном количестве скребков

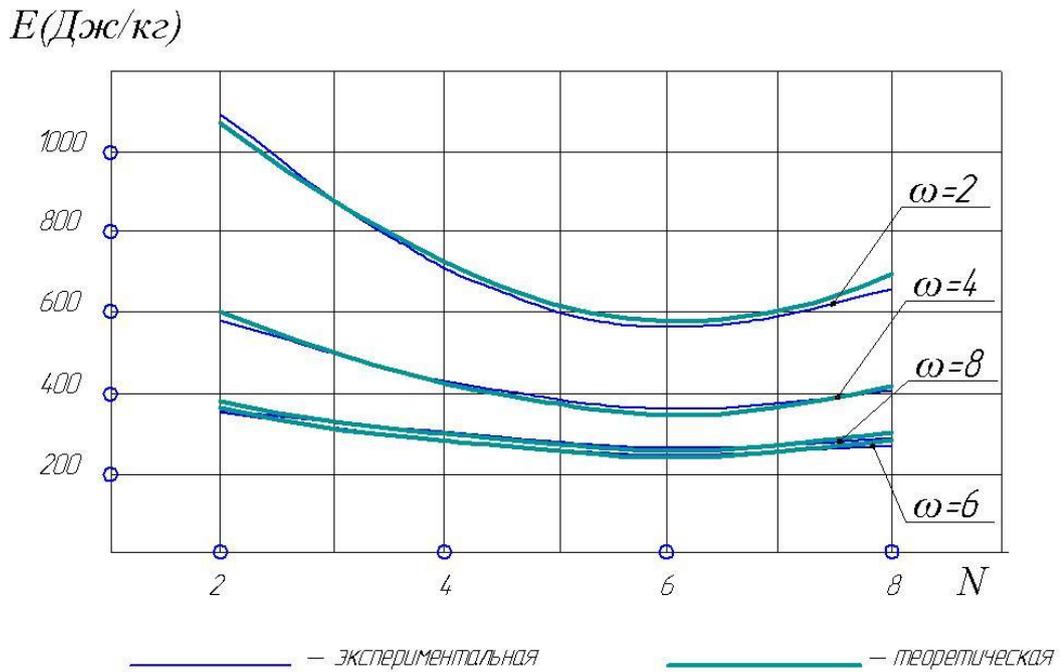


Рисунок 4.34 – Сходимость теоретической и экспериментальной зависимостей энергоемкости дозирующего барабана комбинированного укладчика от количества планок, при различной угловой скорости

Анализ полученных зависимостей подтверждает установленный характер изменения указанных критериев оптимизации от исследуемых факторов. Теоретические зависимости так же, как и экспериментальные, показывают наличие области экстремума. Области минимальных значений практически совпадают. Сравнение теоретических значений, полученных по выражениям из второй главы и экспериментальных значений, показывает сходимость результатов во всей исследуемой области.

На рисунках 4.35 и 4.36 представлены графическое изображение теоретической и экспериментальной зависимостей производительности и энергоемкости машины для удаления и погрузки грунта из теплиц от скорости поступательного движения, при различной высоте удаляемого слоя. Производительность возрастает во всем исследуемом диапазоне. Характер возрастания по теоретическому выражению и экспериментальным данным одинаковый. Теоретические зависимости получены в результате расчета по выражению (2.146) (глава 2), экспериментальные – при расчете по уравнению регрессии (4.8). Как видно из полученных зави-

симостей, теоретические расчеты подтверждены экспериментальными исследованиями. Полученные во второй главе аналитические зависимости подтверждают экспериментальные и сходятся с ними во всех точках, расхождение не превышает 5 %.

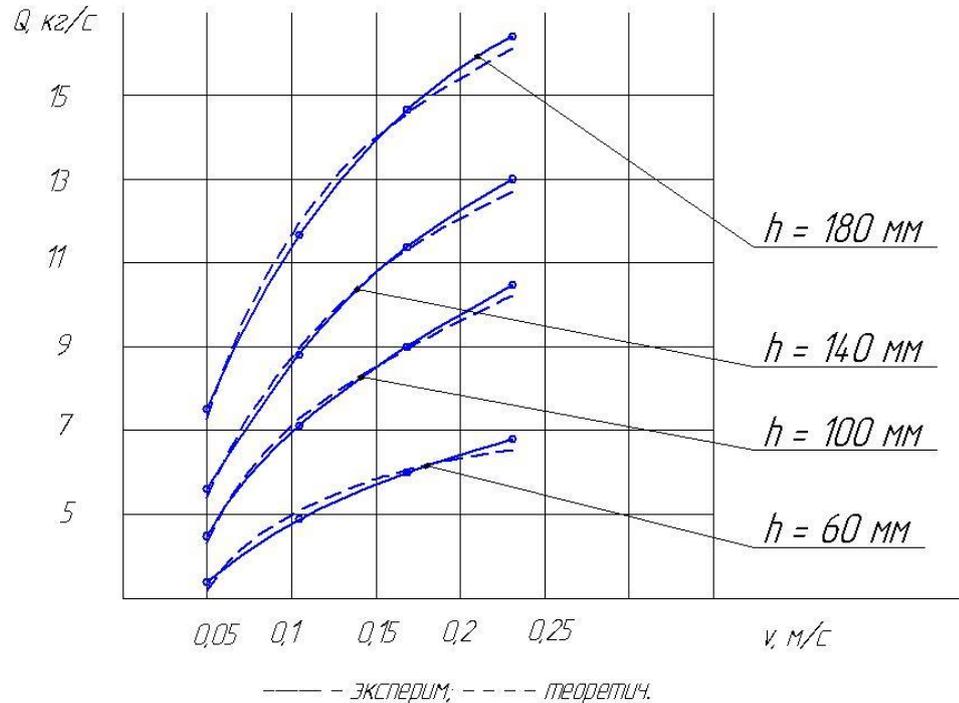


Рисунок 4.35 – Сходимость теоретической и экспериментальной зависимостей производительности машины для удаления и погрузки грунта из теплиц от скорости поступательного движения, при различной высоте удаляемого слоя

Оценка расхождения между экспериментальными и теоретическими данными проводилась с помощью вычисления среднеквадратичного отклонения во всех точках плана экспериментальных исследований. Методика изложена в третьей главе и литературных источниках [135, 227]. Аналогично проводились оценки сходимости и по другим полученным результатам и зависимостям.

Таким образом, выполненная программа экспериментальных исследований позволила получить новые обоснования параметров рабочих органов машин для работы с тепличным грунтом, достоверность которых подтверждена сходимостью с теоретическими положениями.

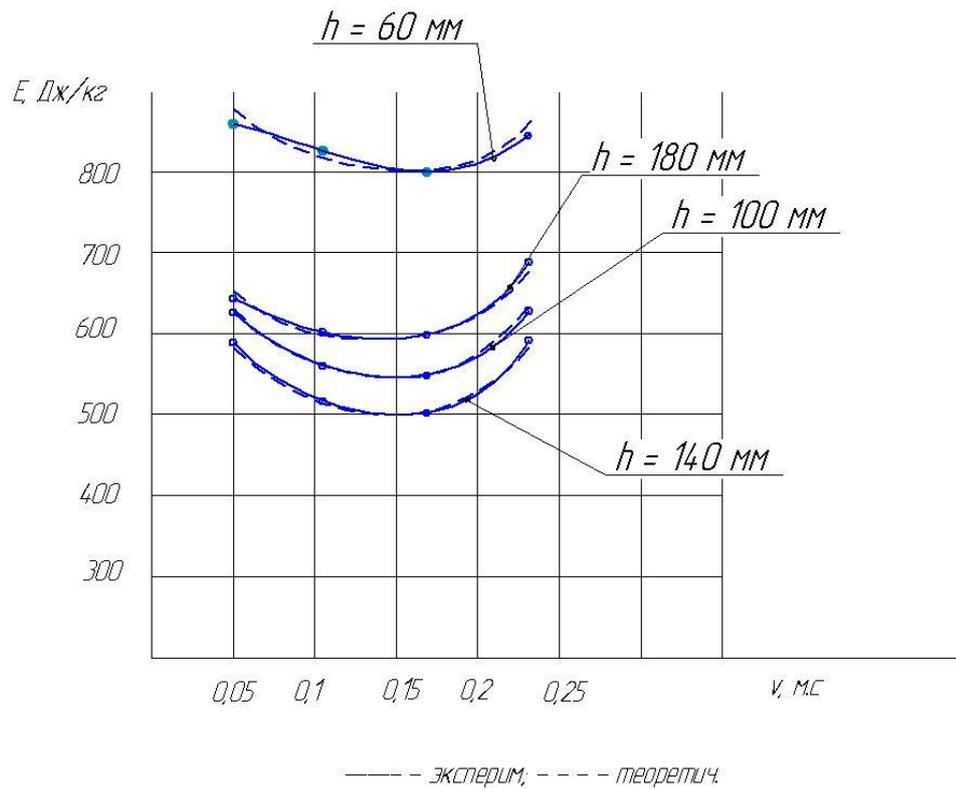


Рисунок 4.36 – Сходимость теоретической и экспериментальной зависимостей энергоемкости машины для удаления и погрузки грунта из теплиц от скорости поступательного движения, при различной высоте удаляемого слоя

4.4. Выводы

1. Исследованы физико-механические и технологические свойства составляющих компонентов и готового тепличного грунта. Определены значение плотности, коэффициентов трения, сопротивления резанию, сопротивления сжатию. Тепличный грунт, состоящий из 60 % чернозема, 20 % опилок, 20 % перепревшего навоза имеет плотность $0,6...0,7$ кг/м³; коэффициент трения по металлу $0,65...0,8$; сопротивление сжатию $0,047$ кПа; сопротивление резанию $0,029$ кПа. Тепличный грунт, состоящий из навоза полуперепревшего, песка, опилок и торфа в равных соотношениях имеет плотность $0,75...0,8$ кг/м³; коэффициент трения по металлу $0,9...1,0$; сопротивление сжатию $0,061$ кПа; сопротивление резанию $0,038$ кПа.

2. Производительность технологических машин для приготовления и использования тепличного грунта имеет наибольшее значение при следующих конструктивно-режимных параметрах. Для комбинированного укладчика производительность 22,5 кг/с составила при угловой скорости приводной звездочки цепного транспортера 5 рад/с и количестве скребков равным 6; угловой скорости дозирующего барабана 6 рад/с при числе планок равным 6. Для погрузчика-смесителя наибольшая производительность 39 кг/с получена при частоте вращения $n = 290 \dots 300$ об/мин шнекового рабочего органа диаметром 0,6 м и количестве зубьев $z = 24$. Максимальная производительность 16,4 кг/с машины для удаления санитарного слоя грунта получена при наибольших значениях поступательной скорости, высоты слоя и значении угла наклона поверхности отвала $\gamma = 22 \dots 24$ градуса.

3. Энергоемкость является функцией соотношения приводной мощности и производительности. Минимальная энергоемкость комбинированного укладчика достигается при скорости цепи транспортера 0,31...0,34 м/с. Увеличение или уменьшение скорости цепи со скребками приводит к росту энергоемкости укладки компонентов грунта. Минимальная энергоемкость для шнекофрезерного рабочего органа погрузчика-смесителя достигается при значениях угловой 4,5...5,5 рад/с скорости. Рабочее значение поступательной скорости соответствует 0,1...0,12 м/с. При больших значениях поступательной скорости энергоемкость существенно возрастает. Рациональные по энергоемкости значения поступательной скорости машины при удалении санитарного слоя из теплиц и высоты удаляемого слоя составляют соответственно 0,12 – 0,17 м/с и 0,13 – 0,15 м; оптимальный угол наклона поверхности отвала составляет 24 – 25 градусов.

4. Анализ процесса укладки компонентов тепличного грунта позволил установить, что при параметрах, соответствующих максимальной производительности среднеквадратичное отклонение высоты слоев составляет менее 5 %, чем обеспечивается требуемое качество укладки. В результате исследований установлено, что наибольшую эффективность приготовления тепличного грунта с позиций технологических параметров обеспечивает шнекофрезерный рабочий орган, оснащенный режущими зубьями криволинейной формы в виде сектора цилиндра.

дрической поверхности при максимальном количестве зубьев, работающих без перекрытия зон резания. Коэффициент качества смешивания достигает значения 0,94-0,96. Влагоёмкость и воздухоёмкость составляют 51% и 48 % соответственно.

ГЛАВА 5

РЕЗУЛЬТАТЫ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ИСПЫТАНИЙ И ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА

5.1 Основные технологические показатели производственных испытаний

Эффективность предлагаемой технологии приготовления и использования грунта, а также технические характеристики технологических машин для выполнения операций в данной технологии подтверждены производственными испытаниями и внедрены в тепличном комбинате АО «Совхоз весна» (г. Саратов), ИП Шатько Л.А. – Ноябрьский садовый центр (г. Ноябрьск, ЯНАО), ООО «Агрофирма ПАРТНЕР» (г. Москва) (приложение Ж).

Разработана конструкторская документация на изготовление погрузчика-смесителя тепличного грунта, которая передана на сборочное производство (ООО «МК АС Трейд», Саратов) для изготовления и запуска в серийное производство (приложение И).

Основные режимные и конструктивные параметры комбинированного укладчика устанавливались в соответствии теоретическими и экспериментальными исследованиями (таблица 5.1).

Таблица 5.1 – Параметры комбинированного укладчика

Наименование параметра	Значение
Диаметр первого дозирующего барабана, мм	400
Диаметр второго дозирующего барабана, мм	400
Ширина захвата, мм	1500
Ширина цепного транспортера, мм	1600
Частота вращения первого дозирующего барабана, об/с	57
Частота вращения второго дозирующего барабана, об/с	57
Скорость цепи со скребками, м/с	0,35
Число планок первого дозирующего барабана, шт.	6

Продолжение таблицы 5.1

Наименование параметра	Значение
Число планок первого дозирующего барабана, шт.	6
Шаг скребков, мм	40
Поступательная скорость, м/с	0,08
Масса комбинированного укладчика, кг	1500

Испытания комбинированного укладчика проводились на площадке для приготовления тепличного грунта тепличного хозяйства ОАО «Совхоз-весна» (рисунок 5.1). Привод дозирующих барабанов и цепного транспортера установлен с учётом результатов теоретических и лабораторно-полевых исследований и предусматривал оптимальное соотношение между режимными и конструктивными параметрами.



Рисунок 5.1 – Укладка компонентов тепличного грунта комбинированным укладчиком

Для определения эффективности комбинированного укладчика при работе в производственных условиях основными показателями служили: производительность, энергоёмкость, качеством укладки компонентов тепличного грунта (таблица 5.2).

Таблица 5.2 – Результаты производственных испытаний комбинированного укладчика компонентов тепличного грунта

Параметры	Обозначение	Размерность	Значение
Производительность за 1 час чистого времени	Q_T	т/ч	22
Производительность за 1 час сменного времени	$Q_{см}$	т/ч (кг/с)	15,4
Приводная мощность	P_n	Вт	1293,3
Энергоёмкость	E_n	Дж/кг	190
Качество укладки	S	–	0,18...0,25

Производственные испытания подтвердили эффективность комбинированного укладчика при укладке компонентов тепличного грунта, состоящего из древесных опилок, перепревшего навоза крупного рогатого скота, дерновой земли (чернозема). За счёт возможности точного дозирования и укладки компонентов достигается равномерная укладка по всей площадке, что является условием качественного приготовления тепличного грунта. Возможность одновременной укладки 2-3 компонентов за один проход при оптимизации режимов работы и конструктивных параметров позволяет повысить производительность и снизить энергоёмкость укладки.

Последующим процессом после укладки является смешивание компонентов и приготовление тепличного грунта. Далее следует погрузка готового грунта в транспортное средство для перемещения в теплицу. Для смешивания исходных компонентов тепличного грунта используют погрузчик ПНД-250. Данный погрузчик имеет низкую степень смешивания, что требует применение ручного труда для повышения равномерности смешивания готового тепличного грунта.

Для получения требуемой производительности и повышения качества смешивания готового тепличного грунта предложен погрузчик-смеситель (рисунок 5.2)



Рисунок 5.2 – Смешивание тепличного грунта погрузчиком-смесителем

В соответствии с теоретическими и экспериментальными исследованиями установлены основные конструктивные и режимные параметры погрузчика-смесителя тепличного грунта (таблица 5.3).

Таблица 5.3 – Параметры погрузчика-смесителя тепличного грунта

Наименование параметра	Значение
Диаметр шнекофрезерного барабана, мм	800
Ширина захвата, мм	1800
Частота вращения шнекофрезерного барабана, об/с	294
Ширина цепного транспортера, мм	1200
Количество режущих зубьев, шт	24

Продолжение таблицы 5.3

Наименование параметра	Значение
Шаг винтовой линии шнекофрезерного барабана, мм	800
Шаг режущих зубьев, мм	0,95
Угол при вершине режущего зуба	110
Угол заточки режущего зуба	60
Поступательная скорость, м/с	0,05
Масса погрузчика-смесителя, кг	900

Эффективность комбинированного укладчика при работе в производственных условиях определялась основными показателями: производительностью, степенью смешивания, воздухоёмкостью и влагоёмкостью. Сравнение данных показателей с показателями ПНД-250 приведены в таблице 5.4.

Таблица 5.4 – Сравнение показателей погрузчика ПНД-250 и погрузчика-смесителя тепличного грунта

Параметр	Погрузчик ПНД-250	Погрузчик-смеситель
Производительность в час чистого времени, т/ч	94	140
Степень смешивания:	–	0,94...0,96
Первый проход	0,54	–
Второй проход	0,815	–
Третий проход	0,917	–
Воздухоёмкость, %	31	48
Влагоёмкость, %	39	51

Завершающим технологическим процессом использования тепличного грунта является его полное или частичное удаление после заданного числа циклов выращивания растений. Далее следует погрузка удаленного грунта в транспортное средство для транспортировки в хранилище. Данная операция в большинстве технологических схем выполняется бульдозером, а погрузка – ковшовым погрузчиком. В результате данный процесс выполняется с недостаточной производи-

тельностью и высокой энергоемкостью. Для выполнения данной операции предложена машина, выполняющая удаление и погрузку тепличного грунта одновременно (рисунок 5.3).



Рисунок 5.3 – Машина для удаления и погрузки тепличного грунта в работе в АО «Совхоз-Весна»

Расчет экономической эффективности машины для удаления тепличного грунта проводился в сравнении с бульдозером. Экономический эффект от внедрения новой машины достигается за счет увеличения производительности и исключения затрат на дополнительные работы по погрузке тепличного грунта в транспортное средство. Использование различных модификаций бульдозера для удаления грунта из теплицы сопряжено с низкой производительностью данных машин

и использованием дополнительных технических средств для последующей погрузки грунта в транспортное средство и его вывоза за пределы теплицы.

Задача производственных испытаний машины для удаления тепличного грунта состояла в подтверждении теоретических и экспериментальных обоснований рациональных параметров, данные приведенных в таблице 5.5.

Таблица 5.5 – Параметры машины для удаления тепличного грунта

Наименование параметра	Значение
Ширина захвата, мм	1600
Угол наклона поверхности отвала	22...24
Ширина цепного транспортера, мм	1400
Скорость цепного транспортера, м/с	0,35
Рабочая высота срезаемого слоя тепличного грунта, мм	до 150
Поступательная скорость, м/с	0,12...0,17
Масса машины, кг	650

Эффективность машины для удаления тепличного грунта при работе в производственных условиях определялась основными показателями: производительностью, энергоёмкостью (таблица 5.6).

Таблица 5.6 – Результаты производственных испытаний машины для удаления тепличного грунта

Параметры	Обозначение	Размерность	Значение
1	2	3	4
Производительность за 1 час чистого времени	Q_T	т/ч	59
Производительность за 1 час сменного времени	$Q_{см}$	т/ч (кг/с)	41,3
Приводная мощность	P_n	Вт	4189
Энергоёмкость	E_n	Дж/кг	518
Усилие для перемещения машины	F	Н	5958

5.2 Технико-экономическая оценка использования технических решений

Результаты внедрения в производство каждой из предложенных машин в технологическом процессе приготовления, использования и удаления тепличного грунта определялись в соответствии с существующими рекомендациями с учетом особенностей функционирования предприятий [143,144].

Загруженность машины и продолжительность использования (часов) в течение года оценивается показателем $\Gamma_{НЗ}$, называемым годовая нормативная загрузка и являющимся в данном случае отношением массы выполняемых работ и часовой производительности:

$$\Gamma_{НЗ} = \frac{M}{Q}, \quad (5.1)$$

где M – выполненная машиной годовая массовая работа (т), Q – часовая производительность, т/ч.

Другим важным показателем загрузки машины в предложенной технологической схеме являются удельные затраты труда T (чел.ч/т), которые определяются количеством занятых операторов (L) и часовой производительностью машины:

$$T = \frac{L}{Q}. \quad (5.2)$$

Для определения технико-экономической эффективности предлагаемой технологии и отдельных технических средств необходимо определить прямые затраты на единицу выполненных работ. В состав прямых затрат входят затраты на заработную плату операторов и другого обслуживающего персонала ($ЗП$), затраты на энергию ($ЗЭ$) и затраты на амортизацию и текущий ремонт ($ЗА$) и прочие затраты ($ЗН$):

$$П_з = ЗП + ЗЭ + ЗА + ЗН \quad (5.3)$$

Затраты на заработную плату ($ЗП$) операторов и другого обслуживающего персонала связаны не только с их числом, занятым на выполнении технологиче-

ского процесса использования тепличного грунта, но и с почасовой оплатой труда, определялась по выражению:

$$ЗП = \frac{Л \cdot O_T}{Q}, \quad (5.4)$$

где O_T – почасовая оплата труда.

Энергетические затраты $ЗЭ$ связаны с величиной затрат на необходимую для привода машин электроэнергию или с величиной затрат на топливо и другие ГСМ при агрегатировании с тракторами или другими базовыми машинами с приводом от двигателя внутреннего сгорания. Для вычисления затрат необходимо знать расход топлива на единицу массы тепличного грунта. Он определяется:

$$P_T = \frac{q_{\text{ч}}}{Q}, \quad (5.5)$$

где $q_{\text{ч}}$ – часовой расход топлива базовой машиной с двигателем внутреннего сгорания с учетом коэффициентов полезного действия механизмов привода и рабочих органов и систем.

Тогда энергетические затраты $ЗЭ$ с учетом стоимости 1 кг топлива C_T (руб/т):

$$ЗЭ = P_T \cdot C_T; \quad (5.6)$$

Затраты на амортизацию и текущий ремонт $ЗА$ определяются суммарными капиталовложениями K для предлагаемой или существующей машины или комплекса технологических машин, нормой отчислений a на амортизацию и текущий ремонт и массовым объемом работ M :

$$ЗА = \frac{K \cdot a}{100 \cdot M}. \quad (5.7)$$

Прочие затраты $ЗН$ (руб./т), которые включают отчисления на социальные нужды, транспортно-складские затраты и другие. Определяются как часть суммарных расходов на зарплату, энергию и амортизацию:

$$ЗН = 0,5 \times (ЗП + ЗЭ + ЗА). \quad (5.8)$$

Технико-экономическая эффективность внедрения новых технологий и машин оценивается снижением прямых затрат:

$$\frac{P_{3_1} - P_{3_2}}{P_{3_1}} \cdot 100\% \quad (5.9)$$

Однако, при этом необходимо учитывать затраты на изготовление новых машин и рабочих органов, или приведенные капиталовложения:

$$P_{KB} = \frac{K \cdot E_H}{M \cdot Q}, \quad (5.10)$$

где E_H – коэффициент эффективности капиталовложений, равный 0,15.

Приведенные затраты $P_{ПР}$ определяются суммой приведенных капиталовложений P_{KB} и прямых затрат:

$$P_{ПР} = P_3 + P_{KB}. \quad (5.11)$$

Снижение приведенных затрат, определяющих технико-экономическую эффективность разработанной технологии вычисляется в процентах:

$$\frac{P_{ПР1} - P_{ПР2}}{P_{ПР1}} \cdot 100\% \quad (5.12)$$

В результате снижения приведенных затрат, учитывающих суммарные затраты на функционирование технологических машин и технологии в целом, а также удельные капиталовложения может быть получен годовой экономический эффект:

$$\mathcal{E}_Г = (P_{ПР1} - P_{ПР2}) \cdot M. \quad (5.13)$$

Годовой экономический эффект обеспечивает окупаемость дополнительных капиталовложений за определенное количество лет:

$$T_{OK} = \frac{K}{\mathcal{E}_Г}. \quad (5.14)$$

Оценка экономической эффективности предлагаемого комбинированного укладчика производилась в сравнении с трактором, оснащенный бульдозерной навеской, включая необходимость доведения тепличного грунта до агротехнических требований с использованием ручного труда.

Основной экономический эффект достигается за счет снижения затрат труда, так как использование комбинированного укладчика позволяет за один проход укладывать до трех различных компонентов, а высокое качество укладки компонентов исключает применение дополнительного ручного труда. Помимо

этого, стоимость бульдозера в совокупности с затратами на ручной труд выше стоимости предлагаемого укладчика.

Параметры экономической эффективности комбинированного укладчика в сравнении с базовым вариантом на основе существующей технологии сведены в таблицу 5.7.

Таблица 5.7 – Параметры экономической эффективности комбинированного укладчика компонентов тепличного грунта

Экономические параметры	Обозначение	Бульдозер	Укладчик
1	2	3	4
Суммарные капиталовложения, руб.	К	98000	285000
Часовая производительность, т/ч	Q	65	81
Годовая массовая работа, т	М	12000	12000
Годовая нормативная загрузка, ч	$\Gamma_{\text{НЗ}}$	184	148
Количество занятых операторов, чел.	Л	1	1
Удельные затраты труда, чел. ч/т	Т	0,167	0,125
Снижение трудоемкости, %	–	–	25
Часовая оплата труда, руб.	O_T	105	105
Затраты на заработную плату, руб./т	ЗП	6,56	4,77
Часовой расход топлива базовой машиной, кг/ч	$q_{\text{ч}}$	12	12
Стоимость 1 кг топлива, руб.	C_T	50	50
Расход топлива на единицу массы тепличного грунта, кг/т	P_T	0,75	0,54
Энергетические затраты, руб./т	ЗЭ	37,5	27
Затраты на амортизацию и текущий ремонт, руб./т	ЗА	0,049	0,142
Прочие затраты, руб./т	ЗН	3,68	2,76
Прямые затраты, руб./т	Π_3	47,78	34,67
Снижение прямых затрат, %	–	–	27,4
Приведенные капиталовложения, руб./т	$\Pi_{\text{КВ}}$	74,856	34,831

Продолжение таблицы 5.7

1	2	3	4
Снижение приведенных капиталовложений, %	–	–	27,2
Годовой экономический эффект, руб.	\mathcal{E}_r	–	156300
Срок окупаемости дополнительных капиталовложений, лет	$T_{ок}$	–	1,8

В процессе эксплуатации комбинированного укладчика в сравнении с использованием бульдозерной навески для укладки компонентов тепличного грунта был получен экономический эффект 156300 рублей за год в ценах на 01.11.2021, а срок окупаемости дополнительных капитальных вложений составил 1,8 года.

Оценка экономической эффективности погрузчика-смесителя проводилась в сравнении с погрузчиком ПНД-250 (также учитывалась необходимость доводки тепличного грунта до агротехнических требований с использованием ручного труда). Экономический эффект от внедрения нового погрузчика-смесителя достигается за счет снижения количества проходов погрузчика, так как благодаря конструкции шнек фрезерного рабочего органа за один проход качество смешивания достигает требуемых значений (без использования ручного труда), в то же время для погрузчика ПНД-250 требуется 2-3 таких прохода. Балансовая стоимость погрузчика-смесителя также меньше стоимости погрузчика ПНД-250.

Показатели экономической эффективности погрузчику-смесителю в сравнении с погрузчика ПНД-250 представлены в таблице 5.8.

Таблица 5.8 – Показатели экономической эффективности погрузчика-смесителя тепличного грунта

Экономические параметры	Обозначение	Погрузчик ПНД-250	Погрузчик-смеситель
1	2	3	4
Суммарные капиталовложения, руб.	K	483000	246000
Часовая производительность, т/ч	Q	94	140

Продолжение таблицы 5.8

1	2	3	4
Годовая массовая работа, т	М	12000	12000
Годовая нормативная загрузка, ч	$\Gamma_{\text{НЗ}}$	127	85
Количество занятых операторов, чел.	Л	1	1
Удельные затраты труда, чел. ч/т	Т	0,0106	0,007
Снижение трудоемкости, %	–	–	34
Часовая оплата труда, руб.	O_T	105	105
Затраты на заработную плату, руб./т	ЗП	1,11	0,75
Часовой расход топлива базовой машиной, кг/ч	$q_{\text{ч}}$	24	17
Стоимость 1 кг топлива, руб.	C_{Γ}	50	50
Расход топлива на единицу массы тепличного грунта, кг/т	P_{Γ}	0,255	0,121
Энергетические затраты, руб./т	ЗЭ	12,75	6,05
Затраты на амортизацию и текущий ремонт, руб./т	ЗА	0,02	0,01
Прочие затраты, руб./т	ЗН	6,79	3,4
Прямые затраты, руб./т	Π_3	20,67	10,21
Снижение прямых затрат, %		–	50,6
Приведенные капиталовложения, руб./т	$\Pi_{\text{КВ}}$	20,73	10,231
Снижение приведенных капиталовложений, %	–	–	50
Годовой экономический эффект, руб.	\mathcal{E}_{Γ}	–	125998
Срок окупаемости дополнительных капиталовложений, лет	$T_{\text{ОК}}$	–	1,9

Использование погрузчика-смесителя в сравнении с погрузчиком ПНД-250 при смешивании компонентов тепличного грунта дало годовой экономический эффект в размере 125998 рублей в ценах на 01.11.2021 года, срок окупаемости составил 1,9 лет.

Оценка экономической эффективности машины для удаления грунта проводилась в сравнении с бульдозерной навеской (также учитывалась необходимость использованием ручного труда для удалении остатков грунта). Экономический эффект от внедрения новой машины достигается за счет снижения количества проходов, так как благодаря конструкции весь тепличный грунт попадает на отгрузочный транспортер и не требуется применение ручного труда чтобы убрать остатки грунта.

Показатели по предлагаемой машине для удаления тепличного грунта и базовому варианту на основе бульдозера сведены в таблицу 5.9.

Таблица 5.9 – Показатели экономической эффективности машины для удаления тепличного грунта

Экономические параметры	Обозначение	Бульдозер	Машина для удаления
1	2	3	4
Суммарные капиталовложения, руб.	К	98000	675000
Часовая производительность, т/ч	Q	25	59
Годовая массовая работа, т	М	480	203,38
Годовая нормативная загрузка, ч	Г _{нз}	12000	12000
Количество занятых операторов, чел.	Л	1	1
Удельные затраты труда, чел. ч/т	Т	0,04	0,0169
Снижение трудоемкости, %		–	57,75
Часовая оплата труда, руб.	О _т	105	105
Затраты на заработную плату, руб./т	ЗП	4,2	1,77
Часовой расход топлива базовой машиной, кг/ч	q _ч	17	12
Стоимость 1 кг топлива, руб.	С _г	50	50
Расход топлива на единицу массы тепличного грунта, кг/т	Р _г	0,68	0,203
Энергетические затраты, руб./т	ЗЭ	34	10,15

Продолжение таблицы 5.9

1	2	3	4
Затраты на амортизацию и текущий ремонт, руб./т	ЗА	0,408	2,81
Прочие затраты, руб./т	ЗН	2,64	2,4
Прямые затраты, руб./т	П _з	41,25	17,13
Снижение прямых затрат, %	–	–	58,4
Приведенные капиталовложения, руб./т	П _{кв}	41,26	17,26
Снижение приведенных капиталовложений, %	–	–	58,4
Годовой экономический эффект, руб.	Э _г	–	287880
Срок окупаемости дополнительных капиталовложений, лет	Т _{ок}	–	2,4

Использование предлагаемой машины в сравнении с бульдозерной навески для удаления слоя тепличного грунта внутри помещения теплицы позволяет получить годовой экономический эффект в размере 287880 рублей в ценах на 01.11.2021, а срок окупаемости вложений составит 2,4 года.

Проведенная оценка технико-экономической эффективности для каждой из предлагаемых машин, позволяет оценить общую экономическую результативность от внедрения новой технологии приготовления и использования тепличного грунта в сравнении с существующей в целом (таблица 5.10).

Таблица 5.10 – Показатели экономической эффективности предлагаемой технологии приготовления и использования тепличного грунта

Экономические параметры	Обозначение	Технология	
		существующая	предлагаемая
1	2	3	4
Суммарные капиталовложения, руб.	К	679000	1206000
Часовая производительность, т/ч	Q	25	59

Продолжение таблицы 5.10

1	2	3	4
Годовая массовая работа, т	М	480	203
Годовая нормативная загрузка, ч	$\Gamma_{\text{НЗ}}$	12000	12000
Количество занятых операторов, чел.	Л	3	3
Удельные затраты труда, чел. ч/т	Т	0,12	0,05
Снижение трудоемкости, %	–	–	27
Часовая оплата труда, руб.	O_T	105	105
Затраты на заработную плату, руб./т	ЗП	12,6	5,34
Часовой расход топлива комплексом базовых машин, кг/ч	$q_{\text{ч}}$	53	41
Стоимость 1 кг топлива, руб.	C_T	50	50
Расход топлива на единицу массы тепличного грунта, кг/т	P_T	2,12	0,7
Энергетические затраты, руб./т	ЗЭ	106	35
Затраты на амортизацию и текущий ремонт, руб./т	ЗА	0,028	0,05
Прочие затраты, руб./т	ЗН	7,4	3,043
Прямые затраты, руб./т	Π_3	196,7	115,4
Снижение прямых затрат, %	–	–	41,3
Приведенные капиталовложения, руб./т	$\Pi_{\text{КВ}}$	197,23	116,15
Снижение приведенных капиталовложений, %	–	–	41,1
Годовой экономический эффект, руб.	\mathcal{E}_T	–	570178
Срок окупаемости дополнительных капиталовложений, лет	$T_{\text{ОК}}$	–	1,2

Анализ показателей эффективности существующей и предлагаемой технологии приготовления и использования тепличного грунта показывает снижение трудовых затрат почти на треть – до 27%, а снижение прямых затрат составило 41,1%.

Расчет по математической модели (2,5) показывает, что полные энергетические затраты по новой технологии снижаются в 6,85 раза; суммарное снижение

затрат труда составляет 5,1 раза; снижение материалоемкости составляет 2,45 раза. Суммарная эффективность предлагаемой технологии по сравнению с существующей с учетом дополнительных капиталовложений возрастает в 1,54 раза.

Таким образом, использование предлагаемой технологии позволяет получить годовой экономический эффект в размере 570178 рублей в ценах на 01.11.21, а срок окупаемости составил 1,2 года.

5.3 Выводы

1. Определены основные технико-экономические показатели комбинированного укладчика компонентов тепличного грунта. Получен годовой экономический эффект 156300 рублей в ценах на 01.11.2021, а срок окупаемости дополнительных капитальных вложений составил 1,8 года.

2. Определены основные технико-экономические показатели погрузчика-смесителя тепличного грунта. Годовой экономический эффект составил 125998 рублей в ценах на 01.11.2021, а срок окупаемости дополнительных капитальных вложений составил 1,9 года.

3. Определены основные технико-экономические показатели машины для удаления и погрузки тепличного грунта. Получен годовой экономический эффект 287880 рублей за год в ценах на 01.11.2021, а срок окупаемости дополнительных капитальных вложений составил 2,4 года.

4. Предложенная технологическая схема приготовления и использования тепличного грунта и его компонентов позволила исключить затраты ручного труда и снизить прямые затраты на 41,1%. Годовой экономический эффект от внедрения новой технологии по сравнению с существующей составил 570178 рублей в ценах на 01.11.2021, а срок окупаемости составил 1,2 года.

5. Полные энергетические затраты по новой технологии снижаются в 6,85 раза; суммарное снижение затрат труда составляет 5,1 раза; снижение материалоемкости составляет 2,45 раза. Суммарная эффективность предлагаемой технологии по сравнению с существующей с учетом дополнительных капиталовложений возрастает в 1,54 раза.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Развитие тепличного производства сдерживается высокой трудоемкостью и энергоемкостью работ по приготовлению, укладке тепличного грунта и последующего его удаления. Проблема ресурсосбережения в указанных технологических процессах может быть решена за счет разработки технических средств с оптимальными, научно обоснованными конструктивно-режимными параметрами рабочих органов. Предлагаемые схемы машин (комбинированный укладчик, погрузчик-смеситель, оснащённый шнекофрезерным рабочим органом, машина для удаления и погрузки слоя грунта), используемые в ресурсосберегающей технологии и имеющие установленные проведенными исследованиями параметры, позволяют достичь общего экономического эффекта 570178 руб., снижения прямых затрат на 41 % при сроке окупаемости дополнительных капиталовложений 1,2 года. Суммарная эффективность предлагаемой технологии по сравнению с существующей с учетом дополнительных капиталовложений возрастает в 1,54 раза.

1. Анализ существующих технологических схем приготовления и использования тепличного грунта и конструктивно-технологических схем применяемых в них технических средств показал, что все процессы выполняют последовательно как отдельные операции. При этом трудоемкость и энергоемкость работ высоки. Одна из основных причин такого положения – отсутствие специализированных машин с рабочими органами, адаптированными к условиям тепличного производства. Применяемые технические средства из других отраслей сельскохозяйственного производства не учитывают особенности приготовления и использования тепличного грунта. Вследствие этого рабочие органы имеют параметры, не соответствующие оптимальным значениям. Отсутствие научного обоснования ресурсосберегающих и высокопроизводительных технических средств с оптимальными конструктивно-режимными параметрами рабочих органов является причиной возникновения проблемы обеспечения эффективности технологических процессов приготовления и использования тепличного грунта.

2. На основе проведенного анализа и сформулированной научной гипотезы разработаны технология приготовления и использования тепличного грунта, модель оценки ее эффективности, учитывающая производительность, энергоем-

кость, материалоемкость процесса и качественные показатели тепличного грунта. Для реализации предложенной технологии разработаны конструктивно-технологические схемы машин: комбинированный укладчик (патент на полезную модель № 211840); погрузчик-смеситель (патент на полезную модель № 119337), оснащённый шнекофрезерным рабочим органом (патент на полезную модель № 117906) и зубьями с режущими поверхностями специальной формы; машина для удаления и погрузки слоя грунта после использования (патент на изобретение № 2621041), адаптированные к физико-механическим свойствам компонентов тепличного грунта и обеспечивающие ресурсо- и энергосбережение.

3. В ходе теоретических исследований получены математические модели взаимодействия отделяющих и транспортирующих рабочих органов с тепличным грунтом. Представлены математическое описание и аналитические зависимости, характеризующие влияние всей суммы факторов на производительность, мощность и энергоёмкость процессов укладки компонентов, смешивания и удаления тепличного грунта.

Основное влияние на силовые взаимодействия и приводную мощность оказывают поступательная скорость машин, угловая скорость рабочих органов, конструктивные параметры элементов, взаимодействующих с тепличным грунтом, и его физико-механические свойства. Определены оптимальный угол при вершине зуба шнекофрезерного питателя – 110 град., угол заточки режущей кромки – 60 град., угол наклона ковша машины для удаления и погрузки слоя грунта – 20...25 град. Производительность рабочих органов с вращательным движением связана с режимными параметрами и диаметром рабочего органа степенной функцией. Для рабочих органов с поступательным движением зависимость от конструктивных и режимных параметров в рабочем диапазоне их значений является прямо пропорциональной. Энергоёмкость взаимодействия рабочих органов предложенных машин с тепличным грунтом определяется суммарным влиянием конструктивных, режимных параметров и физико-механических свойств на производительность и мощность. Влияние указанных факторов на энергоёмкость носит не-линейный характер и описывается уравнениями второго порядка. На осно-

вании анализа математических моделей получены рациональные значения энергоемкости: для укладки компонентов тепличного грунта комбинированным укладчиком – 235 Дж/кг; для смешивания компонентов и погрузки тепличного грунта погрузчиком-смесителем – 170 Дж/кг; для процесса удаления тепличного грунта предлагаемой машиной – 510 Дж/кг.

4. В результате исследований определены физико-механические и технологические свойства составляющих компонентов и готового тепличного грунта. Тепличный грунт, состоящий из чернозема, опилок и перепревшего навоза, имеет плотность 0,6–0,7 кг/м³; коэффициент трения по металлу – 0,65–0,8; сопротивление сжатию – 0,047 кПа; сопротивление резанию – 0,029 кПа. Производительность технологических машин для приготовления и использования тепличного грунта имеет наибольшие значения при следующих конструктивно-режимных параметрах:

– для комбинированного укладчика наибольшая производительность составила 22,5 кг/с при угловой скорости приводной звездочки цепного транспортера 5 рад/с, количестве скребков 7, угловой скорости дозирующего барабана 6 рад/с и при числе планок 6;

– для погрузчика-смесителя наибольшая производительность 39 кг/с достигается при частоте вращения 290–300 мин⁻¹ шнекофрезерного рабочего органа диаметром 0,6 м и количестве зубьев 24;

– максимальная производительность машины для удаления грунта 16,4 кг/с обеспечивается при наибольших значениях поступательной скорости, высоты слоя и значении угла наклона рабочей поверхности ковша 22...24 град.

5. Установлены оптимальные значения конструктивных и режимных параметров, при которых достигается минимальная энергоемкость процессов:

– для комбинированного укладчика – при скорости цепи транспортера 0,31–0,34 м/с энергоемкость составляет 218 Дж/кг;

– для шнекофрезерного рабочего органа погрузчика-смесителя при угловой скорости 4,5–5,5 рад/с и поступательной скорости 0,1–0,12 м/с энергоемкость 167 Дж/кг;

– рациональные по энергоемкости значения поступательной скорости машины для удаления грунта и высоты удаляемого слоя грунта составляют соответственно 0,12–0,17 м/с и 0,13–0,15 м; оптимальный угол наклона поверхности отвала 24–25 град.; энергоемкость 507 Дж/кг.

Отклонение исследуемых параметров от полученных значений приводит к росту энергоемкости выполняемых процессов.

6. Анализ процесса укладки компонентов тепличного грунта позволил установить, что при параметрах, соответствующих максимальной производительности, среднеквадратичное отклонение высоты слоев составляет менее 5 %, что обеспечивает требуемое качество укладки. В результате исследований установлено, что наибольшую эффективность приготовления тепличного грунта с позиций технологических параметров обеспечивает шнекофрезерный рабочий орган, оснащенный режущими зубьями криволинейной формы в виде сектора цилиндрической поверхности при максимальном количестве зубьев, работающих без перекрытия зон резания. Коэффициент качества смешивания достигает 0,94–0,96. Влагеёмкость и воздухоёмкость – 51 % и 48 % соответственно.

7. Установлены значения основных технико-экономических показателей применения разработанной технологии и технических средств. От внедрения комбинированного укладчика экономический эффект составляет 156300 руб., срок окупаемости дополнительных капитальных вложений – 1,8 года. Для погрузчика-смесителя годовой экономический эффект – 125998 руб., срок окупаемости дополнительных капитальных вложений – 1,9 года. Для машины для удаления тепличного грунта годовой экономический эффект 287880 руб., срок окупаемости дополнительных капитальных вложений – 2,4 года. Общий экономический эффект от внедрения ресурсосберегающей технологии 570178 руб., срок окупаемости – 1,2 года. Предлагаемая технология позволила снизить прямые затраты на 41 %. Суммарная эффективность предлагаемой технологии, рассчитанная по предложенной модели с учетом дополнительных капиталовложений, возрастает в 1,54 раза.

Рекомендации производству

Предлагаемую ресурсосберегающую технологию приготовления и использования тепличного грунта целесообразно рекомендовать крупным и средним тепличным хозяйствам, использующим грунтовый способ выращивания растений.

Для снижения потерь компонентов тепличного грунта при его раскладке для последующего смешивания рекомендуется комбинированный укладчик (патент на полезную модель № 211840), обеспечивающий дозирование и равномерную укладку до трех компонентов тепличного грунта.

Для повышения качества смешивания и достижения требуемых технологических свойств тепличного грунта рекомендуется использовать погрузчик-смеситель (патент на полезную модель № 119337), оснащенный шнекофрезерным рабочим органом (патент на полезную модель № 117906).

Для полного или частичного удаления санитарного слоя рекомендуется машина для удаления и погрузки тепличного грунта (патент на изобретение № 2621041), обеспечивающая удаление слоя за один проход.

Перспективы дальнейшей разработки темы

Для повышения качества смешивания и дозировки компонентов тепличного грунта перспективным направлением является создание автоматизированной системы контроля процесса дозирования подачи компонентов, а также автоматизированной информационной системы, отслеживающей в реальном времени технологические характеристики готового тепличного грунта: качество смешивания, воздухоёмкость, влагоёмкость.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Агрегат АИР-20. [Электронный ресурс] : Хозтехника. – Режим доступа: <http://hoztehnikka.ru/2011-07-17-11-57-32/2011-07-17-12-46-28/393-agregat-air-20.html> (21.07.2020).
2. Агробаза. Сельхоз техника и оборудование [Электронный ресурс] : Разбрасыватель органических удобрений одноосный (N-235) – Режим доступа: https://www.agrobase.ru/catalog/machinery/machinery_b700cf18-3715-4ebb-bad2-ee42a6362f52 (11.11.2022).
3. Агропромышленный портал Оренбургской области [Электронный ресурс]: Выращивание в теплице. – Режим доступа: <http://agroportal.su/vyraschivanie-v-teplice.html> (17.04.2021).
4. Агросервис. Разбрасыватели удобрений [Электронный ресурс] : Разбрасыватель органических удобрений ПРТ-10 – Режим доступа: http://www.agse.ru/catalog/zapchasti_dlya_selhoztekhniki/razbrasyvateli_udobrenij/razbrasyvatel_organicheskikh_udobrenij_prt_7__prt_10 (21.12.2020).
5. *Адлер, Ю.П.* Статистическое управление процессами : Учебное пособие / Ю.П. Адлер, В.Л. Шпер. – Москва : Издательский Дом МИСиС, 2015. – 236 с.
6. *Алдошин, Н.В.* Инженерно-техническое обеспечение качества механизированных работ / Н.В. Алдошин, Р.Н. Дидманидзе – М.: Издательство РГАУ-МСХА, 2015. – 188 с.
7. *Амелькин, В. В.* Дифференциальные уравнения в приложениях / В. В. Амелькин. – М. : Наука, 1987. – 160 с.
8. Анализ рынка свежих овощей и грибов в России в 2015-2019 гг., оценка влияния коронавируса и прогноз на 2020-2024 гг. [Электронный ресурс]: Компания *BusinesStat.* – Режим доступа : https://businesstat.ru/images/demo/fresh_vegetables_and_mushrooms_russia_demo_businesstat.pdf (12.03.2021).
9. *Артюшин, А. А.* Предпосылки оценки системы «навоз – органическое удобрение – поле» / А. А. Артюшин, Н. П. Пуговкина, Л. М. Малыгина // Техника в сельском хозяйстве. – 1990. – № 2. – С. 59–65.

10. А. с. 1454288 СССР, МКИ: А01С3/04. Питатель к погрузчику навоза. / В.М. Курочкин, Л.Э. Эбель, С.П. Ваганов. (СССР)- Оpubл. 30.07.89.
11. А. с. 1523077 СССР, МКИ: А01С3/04. Погрузчик-смеситель органоминеральных удобрительных смесей / В. С. Кузнецов, Г. В. Копытин, С. Н. Чиженков. – № 4246958/30-15 ; заявл. 19.02.1987 ; опубл. 23.11.1989, Бюл. № 43. – 3 с.
12. А. с. 1523077 СССР. МКИ: А01С3/04. Погрузчик-смеситель органоминеральных удобрительных смесей / Кузнецов В.С., Копытин Г.В., Чиженков С.Н. – опубл. 4.08.89.
13. А. с. 1702902А1 СССР. МКИ: А 01С3/04. Погрузчик навоза. / И.А. Вороницкий, Д.Ф. Кольга, П.Е. Сыман, А.Я Бугаев.- Оpubл. 7.06.92.
14. А. с. 1727609А1. МКИ: А01С3/04. Заборный орган погрузчика. / А.И. Клименко, А.П. Куримов, В.М. Федотов.- Оpubл. 30.04.92.
15. А. с. 1740292 СССР, МПК В65G 67/24. Винтовой питатель / Волков Ю.И., Кононов Б.В., Павлов П.И. – № 4857372/11; заявл. 06.08.90; опубл. 15.06.1992, Бюл. № 22. – 2 с.
16. А. с. 604922 СССР, МКИ: Е02Р 5/06. Режущая цепь траншейного экскаватора. / Г.Ф. Буянов, И.И. Ивашков, Э.Н. Шкнявский, и др.- (СССР)- Оpubл. 30.04.78.
17. А. с. 773208. СССР, МКИ: Е02Р 5/06. Рабочий орган землеройной машины. / Л.К. Соколов, А.Ф. Гринько, В.П. Степаненко, и др. (СССР)-Оpubл. 23.10.80.
18. А. с. 812883 СССР, МКИ: Е02Р 3/08 Режущий орган экскавационной машины. /Б. А. Басс. (СССР)- Оpubл. 15.03.81.
19. А. с. 829811 СССР, МКИ: Е02Р 5/06. Рабочий орган землеройной машины. / А.Ф. Кичигин, В.П. Степаненко, А.И. Эбин, и др. (СССР)- Оpubл. 15.05.81.
20. Анисимов Т.Ю. машины и оборудование для производства твердых органических удобрений / Анисимова Т.Ю., Каскин К.К. // Вестник ВНИИМЖ – 2016. – № 4 (24). – С. 138 – 143.

21. *Аутко, А. А.* Влияние погодных условий и типа субстрата на биологический состав томатов в тепличных хозяйствах Беларуси / Аутко А.А., Рупасова Ж.А., Игнатенко В.А. // Известия Национальной академии наук Беларуси. Серия аграрная наука. – 2003. – № 3. С. – 49-56.

22. *Аутко, А. А.* Влияние типа субстрата на содержание полисахаридов и фенольных соединений в томатах в условиях защищенного грунта / Аутко А.А., Рупасова Ж.А., Игнатенко В.А., Рудковская Р.Н., Долбик Н.Н., Поздняк О.В. // Известия Национальной академии наук Беларуси. Серия аграрная наука. – 2004. – № 3. – С.62-64.

23. *Аутко, А. А.* Использование органических субстратов на основе торфа для выращивания томата в малообъемной культуре / А. А. Аутко, Д. А. Клещук // Овощеводство на рубеже третьего тысячелетия: матер. Междунар. науч.-практ. конф. – Минск, 2000. – С. 31–35.

24. *Аутко, А. А.* Механизация овощеводства – основа эффективности отрасли / А. А. Аутко // Земляробства і аховараслін. – 2012. – № 6. – С. 8–10.

25. *Аутко, А. А.* Ресурсосберегающие субстраты для теплиц / А. А. Аутко, И. П. Козловская, Е. В. Демидович // Сельскохозяйственный вестник. – 2001. – № 8. – С. 11, 14–15.

26. *Баловнев, В.И.* Подобие и моделирование в системе проектирования дорожно-строительных машин: учеб. пособие / В.И. Баловнев. – М.: МАДИ, 2014 – 148 с.

27. *Борисенко, И. Б.* Обоснование конструктивных параметров орудий для выполнения полосовой обработки почвы в энергосберегающей системе земледелия / И. Б. Борисенко, М. В. Мезникова // Вестник аграрной науки Дона. – 2020. – № 4(52). – С. 19–28.

28. *Берлин, Н.П.* Погрузочно-разгрузочные, транспортирующие и вспомогательные машины и устройства / Н.П. Берлин. – Гомель: изд-во УО «БелГУТ», 2005 – 326 с.

29. *Брызгалов, В.А.* Овощеводство защищенного грунта / Брызгалов В.А., Советкина В.Е., Савинова Н.И. – Л.: Колос, 1983 – 352 с.

30. *Вайнсон, А. А.* Подъемно-транспортные машины. / А.А. Вайнсон. –М.: Машиностроение, 1985. – 423 с.
31. *Василевский, Н.В.* Методические указания по определению основных агрохимических показателей тепличных грунтов. / Н.В. Василевская, С.Г. Самосвалов, В.Г. Прижукова и др. – М.: ЦИНАО, 1986. – 74 с.
32. *Васильев, В. А.* Справочник по органическим удобрениям / В. А. Васильев, Н. В. Филиппова. – М. : Росагропромиздат, 1988. – 255 с.
33. *Везилов, А.О.* Повышение эффективности технологического процесса приготовления почвенных смесей путем обоснования конструктивно-режимных параметров погрузчика-смесителя: дисс. канд. техн. наук / Везилов А.О. – Саратов, 2013 – 126 с.
34. *Везилов, А.О.* Экспериментальное исследование рабочих органов погрузчика-смесителя почвы для теплиц / Везилов А.О. // Научное обозрение. – 2013. – № 8. – С. 24 – 27.
35. *Везилов, А.О.* Комбинированный укладчик в технологическом процессе подготовки почвы для теплиц / Везилов А.О., Павлов П.И., Мухин Д.В. // В сборнике: Стратегия развития сельского хозяйства в современных условиях - продолжение научного наследия Листопада Г.Е., академика ВАСХНИЛ (РАСХН), доктора технических наук, профессора. – 2019. – С. 79 – 84.
36. *Везилов, А.О.* Производительность погрузчика-смесителя почвы для теплиц оснащенного шнекофрезерным рабочим органом / Везилов А.О., Павлов П.И. // В сборнике: Агропромышленный комплекс: состояние, проблемы, перспективы. сборник статей XV Междунар. научн. - практ. конф. – Пенза, 2020. – С. 141–146.
37. *Везилов, А.О.* Результаты экспериментальных исследований процесса удаления и погрузки почвы в теплицах / Везилов А.О., Павлов П.И., Левченко А.В., Корсак В.В. //Нива Поволжья. – 2020. – № 3 (56). – С. 135 – 141.
38. *Везилов, А.О.* Теоретическое обоснование радиуса кривизны зубьев рабочего органа погрузчика-смесителя почвы для теплиц / Везилов А.О., Павлов П.И. // В сборнике: актуальные вопросы современной науки и практики. Сборник

научных статей по материалам IV Междунар. научн. - практ. конф. – Уфа, 2020. – С. 39 – 43.

39. *Везиров, А.О.* Теоретическое определение производительности погрузчика-смесителя почвенной смеси для теплиц / Везиров А.О., Павлов П.И. // Проблемы экономичности и эксплуатации автотракторной техники: Материалы Международной научно-технической конференции имени Михайлова В.В. – Вып. 34. – Саратов: ООО «Амирит», 2021. – С. 167 –171.

40. *Верещенко, Б.В.* Тепличное овощеводство: состояние, проблемы, поиск / Б.В. Верещенко // Картофель и овощи. – 1996 – № 3. – С. 35 – 36.

41. *Верещагин, В. И.* Организация и технология механизированных работ в растениеводстве / В. И. Верещагин, А. Г. Левшин, А. Н. Скороходов. – М. : Академия, 2003. – 416 с.

42. *Верховский, В. М.* Механизация внесения удобрений / В. М. Верховский, В. П. Полеченко. – М. : Колос, 1985. – 245 с.

43. Воздухоёмкость почвы [Электронный ресурс] : экологический словарь. Электронная энциклопедия «Академик». – Режим доступа : <http://dic.academic.ru/dic.nsf/ecolog/1460/Воздухоёмкость> (17.04.2020).

44. Влияние основной обработки на динамику накопления нитратного азота в почве / Н. М. Соколов, Н. М. Жолинский, С. Б. Стрельцов, И. Н. Кораблева // Российская сельскохозяйственная наука. – 2020. – № 6. – С. 34–37.

45. *Волошин, А.П.* Разработка и исследование механизированной технологической линии приготовления торфо-навозных компостов на ферме крупного рогатого скота: дис. кан. техн. наук : 05.20.01 / Волошин А.П. – Москва –1983. – 170 с.

46. *Воронин, В.В.* Критерии и способы оценки качества смешивания сыпучих материалов / В.В. Воронин, К.А. Адигамов, С.С. Петренко, Р.А. Сизякин // Инженерный вестник Дона. – 2012. – № 4 (часть 2). – С.74 – 81.

47. *Гайдар, С.М.* Планирование и анализ эксперимента: учебник / С.М. Гайдар. – М.: изд-во ФГБНУ «Росинформагротех», 2015. – 548 с.

48. *Гамзиков, Г. П.* Изменение содержания гумуса в почвах в результате сельскохозяйственного использования : обзорная информация / Г. П. Гамзиков, М. Н. Кулагина ; ВНИИТЭИагропром. – М., 1992. – 48 с.

49. *Гвоздева, Л. В.* Повышение эффективности погрузки навоза погрузчиком непрерывного действия и обоснование параметров элементарно-цепного питателя : дис. ...канд. техн. наук / Гвоздева Л. В. – Саратов, 2002. – 156 с.

50. *Гилев, В.Ю.* Физика почв / В.Ю. Гилев – Пермь: Пермская ГСХА, 2012. – 37 с.

51. *Гиль, Л.С.* Овощеводство закрытого и открытого грунта. Практическое руководство / Гиль Л.С., Пашковский А.И., Сулима Л.Т. – Житомир, 2012. – 465 с.

52. *Гиниятуллин, К.Г.* Анализ тепличных грунтов и их компонентов: учеб. - метод. пособие / сост.: К.Г. Гиниятуллин, А.А. Валеева, Е.В. Смирнова. – Казань: Казан. ун-т, 2017. – 66 с.

53. *Глазков, В.И.* Анализ движения частиц удобрений по лопаткам центробежного рабочего органа / В.И. Глазков, В.А. Следченко, В.П. Шацкий // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 2010. – №10. – С. 26 –27.

54. *Голубина, О. А.* Физикохимия и биология торфа: использования торфа в сельском хозяйстве: учебно-методическое пособие / О. А. Голубина – Томск: Томский ЦНТИ, 2011. – 45 с.

55. *Голунцов, Н.М.* Методические указания по агрохимическому обследованию тепличных грунтов / Н.М. Голунцов, Л.В. Дмитриева, В.П. Шакматов, М.С. Холодецкий. – М.: Центральный институт агрохимического обслуживания сельского хозяйства, 1987. – 48 с.

56. *Голышев Д.С.* Механизация внесения удобрений / Д.С. Голышев, М.П. Другов, В.В. Рядных, Н.С. Кривопуст. – Л.: Агропромиздат. Ленингр. Отд-ние, 1985. – 79 с.

57. *Горячкин, В. П.* Собрание сочинений: [в 3 т.] / В. П. Горячкин. – М. : Колос, 1968. – Т. 2. – 455 с.

58. ГОСТ 12248-96 Грунты. Методы лабораторного определения характеристик прочности и деформируемости. Межгосударственный стандарт. [Элек-

тронный ресурс]. – Режим доступа : <https://docs.cntd.ru/document/1200000488> (15.08.2021).

59. ГОСТ 5180–84. Грунты. Методы лабораторного определения физических характеристик. [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://docs.cntd.ru/document/1200074237>. (12.06.2021).

60. ГОСТ Р 51371-99. Методы натуральной тензометрии. Госстандарт России. [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://docs.cntd.ru/document/1200051518> (23.11.2022).

61. ГОСТ Р 53381-2009. Почвы и грунты. Грунты питательные. Технические условия. [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://docs.cntd.ru/document/1200074237> (18.05.2020).

62. ГОСТ 24160-80. Торф. Методы определения влагоемкости и водопоглощаемости. Межгосударственный стандарт. [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://docs.cntd.ru/document/1200120562> (15.07.2020).

63. ГОСТ 27753.0-88 – ГОСТ 27753.12–88. Грунты тепличные. Методы определения основных агрохимических показателей. Национальный стандарт Российской Федерации. [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://docs.cntd.ru/document/1200074237> (12.08.2021).

64. Гребенникова, И.В. Методы математической обработки экспериментальных данных / И.В. Гребенникова. – Екатеринбург: Изд-во Урал ун-та, 2015. – 124 с.

65. Гурьянова, К.Н. Математический анализ : [учеб. пособие] / К. Н. Гурьянова, У. А. Алексеева, В. В. Бояршинов; М-во образования и науки Рос. Федерации, Урал. федер. ун-т. – Екатеринбург : Изд-во Урал. ун-та, 2014 – 330 с.

66. Демин, Е. Е. Совершенствование технологических процессов и технических средств погрузки навоза: дис. ... д-ра техн. наук / Демин Е.Е. – Саратов, 2007. – 441 с.

67. Дёмин, Е. Е. Рабочие органы к высокопроизводительным погрузчикам навоза / Е. Е. Дёмин // Машинно-технологическое обеспечение повышения произво-

дительности труда в растениеводстве и животноводстве : сб. науч. докл. 8 Междунар. науч.-практ. конф. – М. : ВИМ, 2006. – Т. 2. – С. 120–122.

68. *Дзюбан, И.Л.* Погрузчик-смеситель органоминерального компоста / И.Л. Дзюбан // Проблемы и перспективы инновационного развития мирового сельского хозяйства: материалы III Междунар. науч.-практ. конф. – Саратов: КУ-БиК, 2012. – С. 175–176.

69. *Дзюбан, И.Л.* Технология приготовления и внесения органоминерального компоста с совмещением процессов смешивания и погрузки / И.Л. Дзюбан., П.И. Павлов // Проблемы и перспективы инновационного развития мирового сельского хозяйства: материалы III Междунар. науч.-практ. конф. – Саратов: КУ-БиК, 2012. – С. 177–180/

70. *Докторов, А.В.* Повышение эффективности работы ковшового погрузчика органических удобрений на базе трактора тягового класса 1,4 : дис. ...канд. техн. наук / Докторов А.В. – Саратов, 1998. – 178 с.

71. *Доспехов Б.А.* Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). – 5-е изд., доп. и перераб. – М. Агропромиздат, 1985. – 351 с.

72. *Дубинин, В. Ф.* Обоснование процессов и средств погрузки объектов сельскохозяйственного производства : дис. ... д-ра техн. наук / Дубинин В. Ф. – М., 1994.

73. *Дубинин, В. Ф.* Универсальные погрузчики / В. Ф. Дубинин, П. И. Павлов, Р. Р. Хакимзянов // Сельский механизатор. – 2002. – № 2. – С. 27–28.

74. *Дубинин, В. Ф.* Физико-механические и перегрузочные свойства сельскохозяйственных грузов : учебное пособие / В. Ф. Дубинин, П. И. Павлов ; Саратов. гос. с.-х. акад. – Саратов, 1996. – 100 с.

75. *Дубинин, В. Ф.* Шнекофрезерный питатель погрузчика органических удобрений / В. Ф. Дубинин, П. И. Павлов, Н. В. Хитрова // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 2000. – № 10. – С. 14–15.

76. *Еремин, В.Н.* Установка для приготовления органических удобрений / В.Н. Еремин, Г.И. Самылов // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 1990. – №6. – С.16–17.

77. *Ермохин, Г.Н.* Универсальный погрузчик с ротационным питателем / Г.Н. Ермохин // Техника в сельском хозяйстве. – 1996. – № 10. – С. 72–74.

78. *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.

79. *Еськов, А.И.* Справочная книга по производству и применению органических удобрений // Новиков М.Н., Лукин С.М. и др. Владимир: РАСХН, 2001 – 496 с.

80. *Ефимов, Г.П.* Погрузчики. Справочник / Г.П. Ефимов. – М. : Транспорт, 1989. – 240 с.

81. *Ефимов, В.Н.* Торф в сельском хозяйстве нечерноземной зоны: справочник / В.Н. Ефимов, И.Н. Донских, Л.М. Кузнецова [и др.]; сост. В.Н. Ефимов – Ленинград: Агропромиздат, 1987. – 303 с.

82. *Жукевич, К. И.* Оценка эффективности сельскохозяйственных машин и технологий / К. И. Жукевич // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 1981. – № 6. – С. 31–33.

83. *Завора, В.А.* Основы технологии и расчета мобильных процессов растениеводства: учебное пособие / В.А. Завора, В.И. Толокольников, С.Н. Васильев. Барнаул: Изд-во АГАУ, 2008. – 263 с.

84. *Завражнов, А.И.* Анализ работы машины для приготовления компостов / А.И. Завражнов, В.В. Миронов, М.В. Криволапов // Техника в сельском хозяйстве. – 2009. – №1. – С.15–17.

85. Зеленая ниша российского овощеводства [Электронный ресурс]: Рамблер. – Режим доступа : <https://finance.rambler.ru/other/43501116-zelenaya-nisha-rossiyskogo-ovoshevodstva/> (14.03.2021).

86. *Зенков, Р.Л.* Машины непрерывного транспорта / Зенков Р.Л., Ивашков И.И., Колобов Л.Н. – М.: Машиностроение, 1987. – 432 с.

87. Инновационные технологии использования торфа в сельском хозяйстве: Сб. докл. Международной научно-практической конференции. – М.: Россельхозакадемия – ГНУ ВНИИОУ. – 2010 г. – 470 с.

88. Использование торфа в защищенном грунте. Торф в сельском хозяйстве Нечерноземной зоны : справочник / В. Н. Ефимов [и др.]. – Л. : Агропромиздат, 1987. – С. 109–130.

89. Каким условиям должен соответствовать тепличный грунт? [Электронный ресурс] : Все про парники и теплицы – Режим доступа : <http://parnikiteplicy.ru/material/grunt-dlya-posadki.html>. (15.06.2021).

90. *Карабан, Г.Л.* Машины для городского хозяйства. / Г.Л. Карабан, В.И. Баловнев, И.А. Засов, Б.А. Лившиц. М. : Машиностроение.– 1988.– 272 с.

91. *Карпов, А. Т.* Смеситель-погрузчик удобрений СПУ-40М / А. Т. Карпов // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 1962. – № 1. – С. 35–36.

92. *Карпов, А. Т.* Универсальный погрузчик – добыватель торфа ПДТ-1,5 / А. Т. Карпов // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 1963. – № 3. – С. 34.

93. Каталог AllSpectech [Электронный ресурс] : Всё о разбрасывателе минеральных удобрений РУМ-5. – Режим доступа: <http://allspectech.com/selhoztehnika/dlya-zemledeliya/dlya-vneseniya-udobrenij/razbrasyvatel-rum-5.html> (17.05.2020).

94. *Кидин, В.В.* Особенности питания и удобрения сельскохозяйственных культур. М.: изд-во РГАУ-МСХА, 2009. – 412 с.

95. *Кленин, Н.И., Егоров В.Г.* Сельскохозяйственные и мелиоративные машины / Кленин Н.И., Егоров В.Г. – М.: КолоС, 2004. – 464 с.

96. *Клименко, А.И.* Применение погрузчика ПНД-250А для приготовления компостов / А.И. Клименко // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 1989. – №7. – С.18–19.

97. *Климов, В. В.* Оборудование теплиц для подсобных и личных хозяйств / В. В. Климов. – М. : Энергоатомиздат, 1992. – 96 с.

98. *Коваленко, В.П.* Приготовление органоминеральных смесей с заданными параметрами / В.Р. Алешкин, П.М. Рощин // Обоснование параметров средств механизации в растениеводстве: сборник научных трудов ВНИПТИМЭСХ. – Зерноград, 1990. – С. 53 – 59.

99. *Козловская, И.П.* Развитие растений томата на органических субстратах при малообъемном способе выращивания в зимних теплицах // Известия Национальной академии наук Беларуси. Серия аграрная наука. – 2002 – № 3. – С. 49 – 52.
100. Компания «Промагроснаб» [Электронный ресурс] : Разбрасыватель минеральных удобрений МВУ-5 (РУМ-5) – Режим доступа: <http://promagrosnab.by/razbrasyvatel-mineralnyh-udobreniy> (22.01.2020).
101. Компания «ЮНИК Плюс» [Электронный ресурс] : Фронтальный погрузчик ПКУ-0,8 / Режим доступа: <http://www.unic-plus.ru/catalog/pogruzochnoe-navesnoe-oborudovanie/frontalnuu-pogruzchik-pku-08-gp-800-kg> (12.12.2019).
102. Компоновка и возможности грейферного погрузчика Т-16 [Электронный ресурс]: сайт Specnavigator. – Режим доступа : <https://specnavigator.ru/grejfer/t-16.html> (25.03.2021)
103. *Конахин, А.М.* Основы теории инженерного эксперимента / А.М. Конахин. – Казань.: Казан. гос. энерг. ун-т, 2003. – 119 с.
104. *Кравцова, Г.М.* Особенности питания овощных культур на малообъемной гидропонике // Гавриш. – 2000. – № 6. – С. 12–13.
105. *Кравченко, В.А.* Использование торфа в качестве субстрата для малообъемного выращивания овощей в теплице // Гавриш.–1998.– № 5.– С. 17–19.
106. *Красников, В.В.* Подъемно-транспортные машины: учебник для ВУЗов. / Красников В.В., Дубинин В.Ф. и др.– М: Агропромиздат, 1987. – 272 с.
107. *Краснощеков, Н. В.* Агроинженерная наука на новом этапе / Н. В. Краснощеков // Техника в сельском хозяйстве. – 2001. – № 4. – С. 3 – 6.
108. *Кузнецов, С.Г.* Новый способ эксплуатации тепличных почвогрунтов / Кузнецов С.Г., Королев К.В. // Техника в сельском хозяйстве. – 1999. – № 1. – С. 34 – 36.
109. *Кузнецова, Л.М.* Искусственные почвенные грунты / Л. М. Кузнецова, А. В. Михайлов, В. Г. Селеннов // Вестник ТГПУ. – 2009. – №3. – С. 145 – 150.
110. *Курмаз, Л.В.* Детали машин. Проектирование: справочное учебно-методическое пособие. / Курмаз Л.В., Скойбеда А.Т. – М.: Высшая школа, 2004. – 309 с.

111. Куропаткина, Н. Д. Субстраты для тепличных хозяйств: качество и эффективность / Куропаткина Н.Д. // Гавриш. – 2010. – № 6. – С. 18 – 22.
112. Кушнарёв, А. С. Проблема повышения плодородия почв / А. С. Кушнарёв // Техника в сельском хозяйстве. – 1989. – № 11. – С. 4 – 7.
113. Логутенко, Э.П. Исследование ротационных рабочих органов типа фрезбарабана для добычи торфа на удобрение: автореф. дис. ... канд. техн. Наук / Логутенко Э.П. – М., 1964. – 24 с.
114. Лачуга, Ю. Ф. Ресурсосберегающая направленность технической политики в сельском хозяйстве / Ю. Ф. Лачуга, М. Ю. Конкин // Техника в сельском хозяйстве. – 2008. – № 1 – С. 3 – 7.
115. Лашук, О.А. Проектирование и расчет : учебное пособие / О. А. Лукашук, А. П. Комиссаров, К. Ю. Летнев. – Екатеринбург : Изд-во Урал. ун-та, 2018. – 128 с.
116. Лебл, Д.О. Технология выращивания овощных культур на торфяных и минераловатных субстратах (малообъемная гидропоника). Рекомендации / Д.О. Лебл, Н.И. Савинова, Г.М. Кравцова – М.: Агропромиздат, 1988. – 80 с.
117. Левченко, Г. В. Повышение эффективности погрузки органических удобрений погрузчиком непрерывного действия и оптимизация параметров лопастного питателя : дис. ... канд. техн. наук / Левченко Г. В. – Саратов, 1998. – 171 с.
118. Левченко, Г.В. Классификация питателей погрузчиков-смесителей / Левченко Г.В., Везилов А.О. // В сборнике: Междунар. научн.-практ. конф., посвященная 70-летию профессора Дубинина В.Ф. – Саратов, 2010. – С. 113 – 116.
119. Левченко, Г.В. Физико-механические свойства насыпных грунтов, используемых в тепличном овощеводстве / Левченко Г.В., Везилов А.О. // В сборнике: Международная научно-практическая конференция, посвященная 70-летию профессора Дубинина В.Ф. – Саратов, 2010. – С. 111–113.
120. Левченко, Г.В. Физические свойства тепличных субстратов [Текст] / Г.В. Левченко, А.О. Везилов // Проблемы экономичности и эксплуатации авто-тракторной техники: матер. Междунар. науч.-техн. семинара им. В.В. Михайлова. – Саратов, 2012. – С. 147–149.

121. *Леликов, О.П.* Основы расчета и проектирования деталей и узлов машин: конспект лекций по курсу «Детали машин». 3-е изд. / О.П. Леликов М.: Машиностроение, 2007. – 464 с.

122. *Линник, Н. К.* Совершенствование технологий и технических средств использования органических удобрений / Н. К. Линник // Техника в сельском хозяйстве. – 1990. – № 5. – С. 51–53.

123. *Липов, А.Ю.* Научные основы разработки технологии производства продукции в защищенном грунте: автореф. дис. ... канд. техн. наук / Липов А.Ю.– М., 1995. – 27 с.

124. *Липов, Ю.Н.* Механико-технологическое обоснование структуры, параметров рабочих органов и комплексов машин защищенного грунта: дис. ... докт. техн. наук : 05.20.01/ Липов Ю.Н. – М., 1993 – 89 с.

125. *Липов, Ю.Н.* Исследование и изыскание рабочих органов машин для подготовки и обработки почвы в теплице/ Ю.Н. Липов // Система машин для возделывания и уборки овощей в защищенном грунте. – М.: ВИСХОМ, 1989. – с. 40 – 42.

126. *Липов, Ю.Н.* Исследование и изыскание рабочих органов машин для подготовки и обработки почвы в теплице/ Ю.Н. Липов // Система машин для возделывания и уборки овощей в защищенном грунте. – М.: ВИСХОМ, 1989. – с. 3 – 6.

127. *Липов, Ю.Н.* Комплекс машин для защищенного грунта / Ю.Н. Липов // Тракторы и сельхозмашины. – 1978. – №8. – С. 34 – 35.

128. *Липов, Ю.Н.* Рабочие органы машины для приготовления компоста при возделывании шампиньонов / Ю.Н. Липов, А.В. Хромов // Тракторы и сельхозмашины. – 1982. – №1. – С. 26 – 27.

129. *Литвинов, С.С.* Состояние, проблемы, перспективы и риски развития овощеводства России в условиях санкций / Литвинов С.С., Разин А.Ф., Иванова М.И., Мещерякова Р.А., Разин О.А. // Картофель и овощи. – 2016. – №2. – С. 25 – 29.

130. *Литтл, Т.* Сельскохозяйственное опытное дело. Планирование и анализ. / Т. Литтл, Ф. Хилз. М.: Колос. – 1981. – 318 с.
131. *Личман, Г.И.* Механика и технологические процессы применения органических удобрений / Г.И. Личман, Н.М. Марченко. – М.: ВИМ, 2001. – 458 с.
132. *Личман, Г. Н.* Методы оценки эффективности машинной технологии по комплексному показателю / Г. Н. Личман // Тез. докл. Междунар. науч.-техн. конф. Информагротех. – М. : Информагротех, 1998. – С. 99 – 100.
133. *Лозановская, И. Н.* Теория и практика использования органических удобрений / И. Н. Лозановская, Д. С. Орлов, П. Д. Попов. – М. : Агропромиздат, 1988. – 96 с.
134. *Львовский, Е. Н.* Статистические методы построения эмпирических формул / Е. Н. Львовский. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Высш. шк., 1988. – 239 с.
135. *Макаричев Ю.А.* Методы планирования эксперимента и обработки данных / Ю.А. Макаричев, Ю.Н. Иванников. – Самара: Самар. Гос.техн.ун-т, 2016 – 131 с.
136. *Марченко, Н. М.* Технология и технические средства для внесения органических удобрений / Н. М. Марченко [и др.]. – М. : Росагропромиздат, 1991. – 190 с.
137. *Марченко, Н.М.* Механизация внесения органических удобрений [Текст] / Н.М. Марченко, Г.И. Личман, А.Е. Шебалкин. – М.: ВО Агропромиздат, 1990. – 207 с.
138. *Марченко, Н.М.* Параметры распределение рабочих органов машин для внесения удобрений / Н.М. Марченко, А.Е. Шебалкин // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 1985. – №7. – С. 12 – 14.
139. Машина для внесения твердых органических удобрений (МТО) [Электронный ресурс] : Агробаза. – Режим доступа : https://www.agrobase.ru/catalog/machinery/machinery_43fa5d4d-61c7-4f6d-9c76-d94625b8332d (23.03.2020).
140. Машины для минеральных удобрений. Смеситель-загрузчик удобрений СЗУ-20 [Электронный ресурс] : Хозтехника. – Режим доступа :

<http://hoztehnikka.ru/2011-07-17-11-57-32/2011-07-17-12-46-28/394-smesitel-zagryzchik-szy-20.html> (27.02.2020).

141. *Мельников, С.В.* Планирование эксперимента в исследованиях сельскохозяйственных процессов / С.В. Мельников, В.Р. Алешкин, П.М. Рошин. – Л.: Колос, 1980. – 168 с.

142. *Межак, С* Технологии выращивания томата в защищенном грунте / Сергей Межак. [Электронный ресурс]: ООО «Диджитал Три» – Режим доступа : https://www.fertilizerdaily.ru/20210920-texnologiya-vyrashhivaniya-tomatov-v-zashhishhenom-grunte/#org_4 (02.10.2021).

143. 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. – 117 с.

144. Методика определения экономической эффективности технологий и сельскохозяйственной техники: нормативно-справочный материал. – М., 2001. – Ч. 2. – 251 с.

145. Методика экономической оценки сельскохозяйственной техники / Н. С. Власов [и др.]. – М. : Колос, 1986. – 223 с.

146. Методические указания по анализу органических удобрений. – Москва: Колос, 1984. – 56 с.

147. Механизация трудоемких процессов в сооружениях защищенного грунта [Электронный ресурс] : Овощи. – Режим доступа : <http://ovoshch.ru/f/id/93-Mehanizatsiya-truduemkih-protsesov-v-sooruzeniyah.html> (21.07.2019).

148. *Мжельский, Н. И.* Справочник по механизации животноводческих ферм и комплексов / Н. И. Мжельский, А. И. Смирнов. – М. : Колос, 1984. – 336 с.

149. *Микаелян, Г.А.* Перспективы развития системы машин для овощеводства защищенного грунта / Микаелян Г.А., Нурметов Р. Дж., Чернов С.А.//Овощеводство защищенного грунта. – 1992. – С. 10-15.

150. *Минаков, И.А.* Особенности и тенденции развития овощеводства защищенного грунта. [Электронный ресурс] : Экономика сельскохозяйственных и

перерабатывающих предприятий. – Режим доступа: <http://naukarus.com/osobennosti-i-tendentsii-razvitiya-ovoschevodstva-zaschischnogo-grunta> (21.03.2020).

151. Министерство сельского хозяйства Саратовской области [Электронный ресурс] : Программа «Развитие сельского хозяйства и регулирование рынков сельскохозяйственной продукции, сырья и продовольствия в Саратовской области на 2019–2025 гг. – Режим доступа : https://minagro.saratov.gov.ru/gosprogram2013_2020.php (17.03.2021).

152. *Милюткин, В. А.* Теоретическое исследование динамического взаимодействия плоского диска с почвой / В. А. Милюткин, М. А. Канаев // Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии. – 2011. – № 3. – С. 6-10.

153. *Миронов, В.В.* Энергоемкость механического взаимодействия рабочих органов машины с компостируемым материалом // Достижения науки и техники АПК. –2017. –Т. 31. – № 4. – С. 91–95.

154. Многоковшовый тракторный погрузчик Д-452 [Электронный ресурс]: Энциклопедия по машиностроению. – Режим доступа : <https://mash-hxl.info/info/708011/> (25.03.2021).

155. Мобильная тукосмесительная установка УТМ-30 [Электронный ресурс]: Машины для минеральных удобрений. – Режим доступа : <http://hoztehnikka.ru/2011-07-17-11-57-32/2011-07-17-12-46-28/397-ytm-30-tykosmecitelnaya-yustanovka.html> (24.03.2021).

156. *Морозов, Н. М.* Перспективные технологии и технические средства для животноводства / Н. М. Морозов, Л. М. Цой // Техника в сельском хозяйстве. – 2001. – № 6. – С. 35.

157. *Новиков, В.В.* Аналитическое описание показателей работы смесителя сыпучих материалов с винтовыми лопастями [Текст] / М.В. Борисова, В.В. Новиков, В.В. Коновалов // Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии – 2019. – № 1. – С. 69 – 78.

158. *Новиков, В.В.* Обоснование параметров лопастной мешалки [Текст] / В.В. Новиков, С.П. Симченкова, В.И. Курдюмов // Вестник ульяновской государственной сельскохозяйственной академии – 2011. – № 2(14). – С. 104 – 108.

159. *Новиков, В.В.* Обоснование производительности смесителя–дозатора [Текст] / В.В. Новиков, Ю.А. Савельев, С.П. Симченкова // Вестник всероссийского научно-исследовательского института механизации животноводства – 2012. – № 3(7). – С. 129 –133.

160. *Новиков, Ю. Ф.* Электромобильные машины для животноводства / Ю. Ф. Новиков, В. В. Гопка. – М. : Агропромиздат, 1998. – 188 с.

161. *Нурметов Р. Дж., Чернов С.А.* Механизация трудоемких процессов в защищенном грунте / Нурметов Р. Дж., Чернов С.А. //Овощеводство защищенного грунта. – 1992. – С. 20 –28.

162. *Нурметов, Р. Дж.* Комплекс машин для выращивания рассады и овощей в защищенном грунте / Нурметов Р.Дж., Попов Г.Ф., Микаелян Г.А. // Система машин для комплексной механизации сельскохозяйственного производства на 1981-1990 гг. – М.: ЦНИИТЭИ, 1982. – С. 570 – 598.

163. *Нурметов, Р. Дж.* Комплекс машин для промышленного производства рассады овощных культур / Нурметов Р.Дж. // Производство овощей и грибов в культивационных сооружениях. – М., 1984 – С. 34 – 38.

164. *Нурметов, Р. Дж.* Прогноз развития механизации овощеводства защищенного грунта / Нурметов Р.Дж., Микаелян Г.А. //Труды ВИМ. – М., 1987. – С. 7 – 9.

165. *Нурметов, Р. Дж.* Технологические комплексы машин для защищенного грунта //Труды НИИОХ. – 1984. – С. 11–12.

166. *Нурметов, Р. Дж.* Технологические основы формирования системы машин для защищенного грунта: дис. ... канд. с/х. наук : 05.20.01 / Нурметов Р.Дж. – М.– 343 с.

167. *Нурметов, Р. Дж.,* Защищенный грунт России: состояние, проблемы, внедрение инновационных технологий / Нурметов Р.Дж., Девочкина Н.Л., Разин А.Ф. // Гавриш. – 2012. – № 3. – С. 31.

168. Оборудование для работы с субстратом: торфоподатчик паллет [Электронный ресурс] : каталог фирмы ООО «ПКФ АГРОТИП». – Режим доступа : <https://agrotip.ru/torfopodatchik-vertical-big-bale-pallet/> (26.03.2021).

169. Обоснование параметров торфяного сырья, используемого в растениеводстве / Л. М. Кузнецова [и др.] // Переработка и использование торфа : сб. науч. тр. ВНИИТП. – Л., 1987. – Вып. 59. – С. 5–12.

170. Овощеводство : учебное пособие по направлениям подготовки: 35.03.04 Агрономия, 35.03.05 Садоводство, переработки сельскохозяйственной продукции, 35.04.05 Садоводство. В 3 ч. Ч. 1 / сост.: Е.Н. Габибова, В.К. Мухортова; Донской ГАУ. – Персиановский : Донской ГАУ, 2019 – 180 с.

171. Овощеводство / Г. И. Тараканов, В. Д. Мухин, К. А. Шуин и др. Под ред. Г. И. Тараканова и В. Д. Мухина. -2-е изд., перераб. и доп.– М.: КолосС, 2003. – 472 с.

172. Организация Объединенных Наций [Электронный ресурс] : Резолюция, принятая Генеральной Ассамблеей 19 декабря 2019 года. – Режим доступа: <https://undocs.org/ru/A/RES/74/244> (28.10.2021).

173. Орёлстроймаш [Электронный ресурс] : Машина для внесения минеральных удобрений РУ-1,6 «ВИКИНГ-1600». – Режим доступа: <http://orelstroymash.ru/catalog/product/mashina-dlya-vneseniya-mineral-nyh-udobreniy-ru-1-6-viking-1600-analog-amazone-1500> (21.12.2020).

174. *Орсик, Л. С.* Техническая политика в агропромышленном комплексе / Л. С. Орсик // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 2001. – № 1. – С. 2–6.

175. *Павлов, Н.В.* Исследование энергоемкости процесса погрузки органических удобрений погрузчиками периодического и непрерывного действия // Дисс. канд. техн. наук. – Рига, 1969. – 215 с.

176. *Павлов, П. И.* Научно-технические решения проблемы ресурсосбережения при использовании навозопогрузчиков непрерывного действия : дис. ... д-ра техн. наук / Павлов П. И. – Саратов, 2002. – 441 с.

177. Павлов, П. И. Определение производительности фрезерующих рабочих органов погрузчика навоза / П. И. Павлов, Е. Е. Дёмин, Р. Р. Хакимзянов // Техника в сельском хозяйстве. – 2006. – № 4. – С. 14–17.

178. Павлов, П. И. Питатель фрезерующего типа для погрузки органических удобрений / П. И. Павлов, Е. Е. Дёмин, Р. Р. Хакимзянов // Вестник Саратовского госагроуниверситета им. Н. И. Вавилова. – 2006. – № 3. – С. 31–34.

179. Павлов, П. И. Погрузчик органических удобрений / П. И. Павлов, Р. Р. Хакимзянов // Сельский механизатор. – 2001. – № 2. – С. 48.

180. Павлов, П. И. Производительность питателей фрезерующего типа погрузчика органических удобрений / П. И. Павлов, Е. Е. Дёмин, Р. Р. Хакимзянов // Вестник Саратовского госагроуниверситета им. Н. И. Вавилова. – 2006. – № 2. – С. 51–55.

181. Павлов, П. И. Стенд для исследования питателей погрузчиков непрерывного действия / П. И. Павлов // Тракторы и сельскохозяйственные машины – 1999. – № 3. – С. 39–40.

182. Павлов, П. И. Физико-механические свойства сельскохозяйственных грузов / П.И. Павлов, Е.Е. Дёмин, О.В. Шок. – Саратов, 2006. – 130 с.

183. Павлов, П.И. Погрузчик-смеситель почвы для теплиц / Павлов П.И., Медведев С.Л., Везиров А.О. // Сельский механизатор. – 2013. – № 9. – С. 40.

184. Павлов, П.И. Теоретическое исследование взаимодействия шнекового рабочего органа погрузчика-смесителя с компонентами органоминерального компоста / Павлов П.И., Везиров А.О., Дзюбан И.Л. // Научная мысль. – 2015. – № 3. – С. 131–134.

185. Павлов, П.И. Использование комбинированного укладчика в технологической схеме приготовления органоминеральных смесей / Павлов П.И., Везиров А.О., Мухин Д.В. // Естественные и технические науки. – 2018. – № 11 (125). – С. 321–324.

186. Павлов, П.И. Исследование влияния конструктивных и режимных параметров комбинированного укладчика на мощность привода рабочих органов /

Павлов П.И., Корсак В.В., Везиров А.О., Мухин Д.В. // Аграрный научный журнал. – 2019. – № 5. – С. 82–85.

187. Павлов, П.И. Исследование влияния режимных и конструктивных параметров на приводную мощность и производительность фрезерно-шнекового питателя / П.И. Павлов, Е.Е. Демин, Р.Р. Хакимзянов; ФГОУ ВПО «Саратовский ГАУ». – Саратов, 2006. – 10 с.: ил. 3. – Библиогр. 2 назв. – Рус. – Деп. в ВИНТИ 15.06.06, № 800 – В. 2006 год.

188. Павлов, П.И. Исследование энергоемкости дозирующего барабана комбинированного укладчика / Павлов П.И., Везиров А.О., Мухин Д.В. // Естественные и технические науки. – 2019. – № 7 (133). – С. 202 – 205.

189. Павлов, П.И. Комбинированный укладчик компонентов почвы для теплиц / Павлов П.И., Везиров А.О., Мухин Д.В. // Научная мысль. – 2016. – № 5. – С. 36 – 38.

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

191. Павлов, П.И. Научно-технические решения проблемы ресурсосбережения при использовании навозопогрузчиков непрерывного действия: дисс. д-ра техн. наук: 05.20.01 / Павлов П.И. – Саратов, 2002. – 441 с.

192. Павлов, П.И. Обоснование параметров шнекового погрузчика-смесителя органоминерального компоста / Павлов П.И., Дзюбан И.Л., Везиров А.О. // Вестник Федерального государственного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный агроинженерный университет имени В.П. Горячкина». – 2019. – № 6 (94). – С. 4 – 9.

193. Павлов, П.И. Оптимизация конструктивных и режимных параметров комбинированного укладчика почвенных компонентов / Павлов П.И., Везиров А.О., Мухин Д.В. // Аграрный научный журнал. – 2020. – № 10. – С. 115 – 119.

194. Павлов, П.И. Погрузчик органических удобрений [Текст] / П.И. Павлов, Р.Р. Хакимзянов // Сельский механизатор. – 2001. – №2. – С. 48.

195. *Павлов, П.И.* Погрузчик-смеситель для тепличного овощеводства / П.И. Павлов, Г.В. Левченко, А.О. Везиров // Новые технологии и технические средства в АПК: Междунар. конф., посвящ. 105-летию со дня рожд. проф. В.В. Красникова. – Саратов, 2013. – С. 141–143.

196. *Павлов, П.И.* Погрузчик-смеситель для тепличного субстрата / П.И. Павлов, Г.В. Левченко, А.О. Везиров // Сб. работ VI Саратовского салона изобретений, инноваций и инвестиций. – Саратов, 2011. – Ч. 1. – С. 165–166.

197. *Павлов, П.И.* Погрузчик-смеситель для тепличного субстрата / П.И. Павлов, Г.В. Левченко, А.О. Везиров // Инновации и актуальные проблемы техники и технологий: матер. Всерос. науч.-практ. конф. молодых учёных. – Саратов, 2010. – Т. 2. – С. 91–92.

198. *Павлов, П.И.* Результаты исследований погрузчика-смесителя почвы для теплиц / Павлов П.И., Левченко Г.В., Везиров А.О. // Вестник Саратовского госагроуниверситета им. Н.И. Вавилова. – 2013. – № 8. – С. 62–64.

199. *Павлов, П.И.* Результаты исследования степени смешивания погрузчика-смесителя для приготовления органоминерального компоста / П.И. Павлов, И.Л. Дзюбан // Вестник Саратовского госагроуниверситета им. Н.И. Вавилова. – 2014. – № 8. – С. 50–51.

200. *Павлов, П.И.* Результаты экспериментальных исследований комбинированного укладчика почвенных компонентов для теплиц / Павлов П.И., Корсак В.В., Везиров А.О., Мухин Д.В. // Аграрный научный журнал. – 2018. – № 10. – С. 52–54.

201. *Павлов, П.И.* Результаты экспериментальных исследований прицепной машины для удаления и погрузки почвы в теплицах / Павлов П.И., Везиров А.О., Корсак В.В., Левченко А.В. // Аграрный научный журнал. – 2020. – № 12. – С. 97–99.

202. *Павлов, П.И.* Стенд для исследования питателей погрузчиков непрерывного действия // Тракторы и сельскохозяйственные машины – 1999. - №3. - с. 39...40.

203. *Павлов, П.И.* Экспериментальное исследование работы погрузчика-смесителя органоминерального компоста / Павлов П.И., Везиров А.О., Дзюбан И.Л. // В сборнике: Интеллектуальные машинные технологии и техника для реализации Государственной программы развития сельского хозяйства. Сборник научных докладов Междунар. научн. -практ. конф. – Саратов, 2015. – С. 84 – 87.

204. *Павлов, П.И.* Энергоемкость укладки почвенных компонентов комбинированным укладчиком для теплиц / Павлов П.И., Везиров А.О., Мухин Д.В. // Электротехнологии и электрооборудование в АПК. – 2019. – № 3 (36). – С. 63 – 67.

205. *Пажера, В. И.* Исследование фрезерных рабочих органов для загрузки органических удобрений: дисс. ... канд. техн. наук / Пажера В. И. – Каунас, 1967. – 177 с.

206. *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.

207. *Панов, И.М.* Механико-технологические основы расчета и проектирования почвообрабатывающих машин с ротационными рабочими органами : автореф. дисс....д-ра техн. наук / Панов И.М. – М, 1983. – 36с.

208. Пат. № 117906 Российская Федерация, МПК В 65 G 67/24, В 65 G 65/22. Рабочий орган погрузчика-смесителя / Павлов П.И., Левченко Г.В., Везиров А.О., Дзюбан И.Л.; заявитель и патентообладатель Саратовский ГАУ. – № 2012108283/11; заявл. 05.03.2012; опубл. 10.07.2012, Бюл. № 19.

209. Пат. № 119337 Российская Федерация, МПК В 65 G 65/22, А 01 С 3/04. Погрузчик-смеситель органоминерального компоста / Везиров А.О., Дзюбан И.Л., Павлов П.И.; заявитель и патентообладатель Саратовский ГАУ. – № 2012114293/11; заявл. 11.04.2012; опубл. 20.08.2012, Бюл. № 23.

210. Пат. № 2083463 Российская Федерация, МКИ В 65 G 67/24 // (В 65 G 65/22). Шнекофрезерный питатель / Павлов П. И., Хитрова Н. В. – Оpubл. 10.07.97, Бюл. № 19.

211. Пат. № 2621041 Российская Федерация, МПК В 62 D 63/00 Прицепная машина для удаления и погрузки почвы в теплицах / Павлов П.И., Везиров А.О., Левченко Г.В., Ракутина А.В.; заявитель и патентообладатель Саратовский ГАУ. – № 2016100090; заявл. 11.01.2016; опубл. 31.05.2017.

212. Пат. № 87153 Российская Федерация, МПК В65G 67/24; Погрузчик смеситель / Павлов П. И., Левченко Г. В., Алексеенко И. С. – Опубл. 27.09.2009, Бюл. № 27.

213. Пискунов, Н. С. Дифференциальное и интегральное исчисление для втузов. В 2-х т. / Н. С. Пискунов. – М. : Интеграл-Пресс, 2002. – Т. 1. – 416 с.

214. Поворотный бульдозерный отвал для МТЗ - 1221 [Электронный ресурс] : Переволоцкий Механический завод / Режим доступа: <http://www.pmzavod.ru/buldozer-otval-traktor-mtz1221.shtml#close> (23.04.2019)

215. Погрузчик TLH-3507 [Электронный ресурс] : Компания UMG СДМ холдинг «Объединенная машиностроительная группа» – Режим доступа: <https://umg-sdm.com/catalog/teleskopicheskie-pogruzchiki/teleskopicheskiy-pogruzchik-tlh-3507> (11.11.2022).

216. Погрузочно-разгрузочная машина МВС-4 [Электронный ресурс]: Производственно-конструкторское бюро «МЕЛЬМАШ». – Режим доступа : <https://melmash.wixsite.com/melmash/mashina-dlya-vygruzki-slezhavshihsy> (25.03.2021).

217. Погрузчик непрерывного действия ПНД-250 [Электронный ресурс]: Каталог сельскохозяйственной техники. – Режим доступа : <http://agritech.ru/catalog/20/0/0/tech85.html> (12.06.2019).

218. Погрузчик Termit 1000 [Электронный ресурс]: Курганский завод дорожных машин. – Режим доступа : <https://kzdm.ru/catalog/mini-pogruzchiki/termit-1000/> (23.09.2022).

219. Погрузчик МКСМ-800 [Электронный ресурс]: КурганМашЗавод. – Режим доступа : <https://kurganmash-zavod.ru/minipogruzchik-mksm-800/> (23.09.2022).

220. *Половцев, Е.Л.* Приготовление компостов с помощью ПНД – 250 / Е.П. Половцев // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 1988. – №11. – С. 20 –22.

221. Порционный смеситель субстрата [Электронный ресурс]: ООО «Леснаб» – Режим доступа : <http://www.lessnab.karelia.ru/linsubstr3.htm> (27.02.2020)

222. *Потапов, Г. П.* Погрузочно-транспортные машины для животноводства : справочник / Г. П. Потапов. – М. : Агропромиздат, 1990. – 239 с.

223. Почвогрунты и смеси для питательных горшочков и кубиков [Электронный ресурс] : Ботаника. Онлайн энциклопедия растений. – Режим доступа : <http://botane.ru/spravochnik/teplica/teplichnyj-grunt> (21.04.2020).

224. Продовольственная и сельскохозяйственная организация Объединенных Наций [Электронный ресурс] : Овощи и фрукты - основа вашего рациона. Международный год овощей и фруктов, 2021, справочный документ. – Режим доступа: <https://www.fao.org/publications/card/ru/c/CB2395RU/> (28.06.2021).

225. Производство и потребление тепличных овощей в РФ продолжают расти [Электронный ресурс] : Информация о рынке овощей, фруктов, ягод и орехов Восточной Европы и Центральной Азии – Режим доступа : <https://east-fruit.com/novosti/proizvodstvo-i-potreblenie-teplichnykh-ovoshchey-v-rf-prodolzhayut-rasti/> (07.07.2021).

226. *Прохоренко, Н.Б.* Классификация и состав торфов: учебно -методическое пособие / Н.Б. Прохоренко. – Казань: Казанский (Приволжский) Федеральный университет, 2013. – 56 с.

227. *Радченко, Г. Е.* Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий протекания процесса / Г. Е. Радченко. – Горки, 1978. – 70 с.

228. Разбрасыватель RS-1500 [Электронный ресурс]: компания CynkoMet. – Режим доступа : <https://cynkomet.pl/ru/specification/rozzrutnik-rs-1500-ru/#1557129883488-638f9bbd-90a4> (24.03.2021).

229. Разбрасыватель органических удобрений РОУ-6 [Электронный ресурс]: ООО «Доминант №1». – Режим доступа : <https://dominant1.ru/p274352750-razbrasyvatel-organicheskikh-udobrenij.html> (24.03.2021).

230. Распределитель минеральных удобрений РУ-3000. Руководство по эксплуатации [Электронный ресурс]: ОАО «Управляющая компания холдинга «Бобруйскагромаш». – Режим доступа : https://bobruiskagromach.com/upload/iblock/e76/Rukovodstvo_po_ekspluatatsii_RU.pdf (24.03.2021).

231. Разбрасыватель навоза Р50. [Электронный ресурс]: Новатек: поставки сельскохозяйственной техники и машин. – Режим доступа : <https://novatech-agro.ru/vnesenie-udobrenij-i-sredstv-zaschity-rastenij/razbrasyvateli-organicheskikh-udobrenij/razbrasyvatel-navoza-r50/> (11.11.2022).

232. Распределитель минеральных удобрений МТТ-4У. Руководство по эксплуатации [Электронный ресурс]: ОАО «Управляющая компания холдинга «Бобруйскагромаш». – Режим доступа: https://bobruiskagromach.com/upload/iblock/368/Rukovodstvo_po_ekspluatatsii_MTT_4U_01_.pdf (24.03.2021).

233. РД-АПК 1.10.09.01-14 Методические рекомендации по технологическому проектированию теплиц и тепличных комбинатов для выращивания овощей и рассады // Система рекомендательных документов агропромышленного комплекса министерства сельского хозяйства Российской Федерации. Москва. 2014. – 104 с.

234. Реконструкция ТК «Дубки» [Электронный ресурс]: НПФ «ФИТО». Промышленные теплицы и оборудование. – Режим доступа : <http://www.fito-system.ru/rekonstrukciya-dubkah> (21.02.2019).

235. *Родников, Н. П.* Овощеводство / Н. П. Родников, Н. А. Смирнов, Я. К. Пантилеев. – 4-е изд., перераб. и доп. – М. : Колос, 1984. – 399 с.

236. Родные томаты: низкие цены на овощи сохранятся всю осень [Электронный ресурс]: Газета «Известия». – Режим доступа : <https://iz.ru/904666/evgeniia-pertceva/rodnye-tomaty-nizkie-tceny-na-ovoshchi-sokhraniatsia-vsiu-osen> (14.03.2021).

237. Ромакин, Н.Е. Машины непрерывного транспорта: учебное пособие для студ. высших учеб. Заведений / Н.Е. Ромакин. – М.: Издательский центр «Академия», 2008. – 432 с.

238. Россияне стали больше есть овощей защищенного грунта [Электронный ресурс]: Компания AgroXXI. – Режим доступа : <https://www.agroxxi.ru/analiz-rynka-selskohozjaistvennyh-tovarov/rossijane-stali-bolshe-est-ovoschei-zaschishchennogo-grunta.html> (12.03.2021).

239. Рынок свежих овощей. Итоги-2022: овощи защищенного грунта [Электронный ресурс]: Институт конъюнктуры аграрного рынка. – Режим доступа : <http://ikar.ru/lenta/754.html> (12.05.2023).

240. Рынок овощей защищённого грунта в России: итоги 2022 года и перспективы развития [Электронный ресурс]: PRoБизнес72 – Режим доступа : <https://pbs72.ru/articles/mneniya/rynok-ovoshchey-zashchishchennogo-grunta-v-rossii-itogi-2022-goda-i-perspektivy-razvitiya/> (12.05.2023).

241. Рынок тепличных овощей итоги 2020 год [Электронный ресурс] : Московский хладокомбинат №4 – Режим доступа : <https://www.moshol14.ru/press-centr/novosti-rynka/ogurcy-tomaty/> (18.03.2021).

242. *Рябков, В.В.* Технологии и технические средства производства и применения органических удобрений / Рябков В.В. и др. Владимир, 2002. – 50 с.

243. *Рябых, Р.С.* Применение удобрений в овощеводстве защищенного грунта / Р.С. Рябых, С.Н. Байкова. – Москва: Росагропромиздат, 1990. – 33 с.

244. *Савко, Ф.И.* Исследование процесса смешивания торфов с минеральными удобрениями в смесителях периодического действия: дис. кан. техн. наук : 05.20.01 / Ф.И. Савко. – Минск – 1972. – 160 с.

245. *Савельева, И. Ю.* Определение конструктивно - режимных параметров приводного зубового диска / И. Ю. Савельева, В. А. Милюткин // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. – 2018. – № 3(43). – С. 25–30.

246. *Савченко, Ю. А.* Совершенствование рабочего процесса и обоснование параметров веерного питателя погрузчика непрерывного действия : дис. ... канд. техн. наук 05.20.01 / Савченко Ю. А. – Саратов, 1986. – 163 с.

247. Самой динамичной культурой защищенного грунта являются томаты [Электронный ресурс]: Российский агропромышленный вестник. – Режим доступа: <https://agroservers.ru/articles/6340.htm> (14.03.2021)

248. *Самойлова, Т.Ф.* Обоснование параметров и режимов работы мобильного смесителя компонентов компоста: дис. ... канд. техн. наук : 05.20.01 / Самойлова Т.Ф. – Зерноград, 2016 – 168 с.

249. Сельскохозяйственные и мелиоративные машины [Текст] / Г.Е. Листопад [и др.]; под общ. ред. Г.Е. Листопада. – М.: Агропромиздат, 1986. – 688 с.

250. Сельскохозяйственный словарь-справочник. Влагеёмкость почвы. [Электронный ресурс] : Электронная энциклопедия «Академик». – Режим доступа: <http://dic.academic.ru/dic.nsf/agriculture/485/ВЛАГОЁМКОСТЬ> (17.06.2020).

251. Смесители горизонтальные [Электронный ресурс] : ОАО БелцентрАгропромСбыт – Режим доступа : https://belagrosbit.ru/smiesiteli_torfa_grunta (20.05.2022)

252. Смеситель торфоперегнойной массы СТМ-8/20 стационарный [Электронный ресурс] : AGRO.AG – Режим доступа : http://www.agro.ag/catalog/mashinj_i_oborudovanie_dlya_vjrashivaniya_rastenij/mashina_dlya_prigotovleniya_gruntov_kompostov_i.html (18.12.2020).

253. Совершенствование технологии приготовления органических удобрений / Н. К. Линник [и др.] // Техника в сельском хозяйстве. – 1995.–№ 6.–С. 22–23.

254. *Соколов, Н. М.* Повышение качества противоэрозионной обработки почвы на склоновых землях совершенствованием технологического процесса и технических средств: дис. ... док. техн. наук / Соколов Н.М. –Пенза, 2013. – 284 с.

255. *Солдатенко, А.В.* Тепличное хозяйство – обзор текущего состояния отрасли АПК России / А.В. Солдатенко, В.Ф. Пивоваров, А.Ф. Разин, Р.А. Мещерякова, О.А. Разин, Т.Н. Сурихина, Г.А. Телегина // Овощи России. – 2020. – №2. – С.3 –11.

256. Сооружения, технологии и технические средства для производства овощной продукции в защищенном грунте: метод. рек. – М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2015 – 144 с.

257. Состояние и перспективы развития материально-технической и технологической базы по производству и использованию органических удобрений в земледелии России / Н. М. Марченко [и др.] // Развитие приоритетов машинного обеспечения растениеводства: сб. науч. докл. Междунар. науч.-практ. конф. «Земледельческая механика в растениеводстве». – М. : ВИМ, 2002. – Т. 7. – С. 162–170.

258. *Спиридонов, А.А.* Планирование эксперимента при исследовании технологических процессов / А.А. Спиридонов. – Москва: Машиностроение, 1987. – 184 с.

259. *Спирин, Н.А.* Методы планирования и обработки результатов инженерного эксперимента: Учебное пособие / Н.А. Спирин, В.В. Лавров, Л.А. Зайнуллин, А.Р. Бондин, А.А. Бурыкин; Под общ. ред. Н.А. Спирина. – Екатеринбург: ООО «УИНЦ», 2015 – 290 с.

260. *Спирин, Н.А.* Методы планирования и обработки результатов инженерного эксперимента / Спирин Н.А., Лавров В.В., Бондин А.Р., Лобанов В.И. – Екатеринбург: ГОУ ВПО УГТУ-УПИ, 2003. – 260 с.

261. *Старостин, К. В.* Использование органического удобрения (биогумуса) для возрождения плодородия почв и повышения урожая / К. В. Старостин // Молодой ученый. – 2017. – № 20 (154). – С. 231 – 233.

262. *Стильве, А. О.* Исследование энергоемкости и динамики погрузчиков непрерывного действия для удобрений : дис. ... канд. техн. наук / Стильве А. О. – Минск – Рига, 1964. – 171 с.

263. *Столяренко, С. Б.* Особенности питательных субстратов на основе верхового сфагнового торфа [Электронный ресурс] : Grow Plants Company. – Режим доступа : <http://growplants36.ru/teplichnye-texnologii/24/-osobennosti-pitatelnyh-substratov-na-osnove-verh/> (21.08.2020).

264. *Суров, О. А.* О технологической модернизации сельскохозяйственного производства России / О. А. Суров // *Техника и оборудование для села.* – 2005. – № 2 – С. 4 – 5.

265. Тенденции развития мирового рынка овощей и картофеля [Электронный ресурс]: Труды ВИАПИ им А.А. Никонова – Режим доступа: <http://www.viapi.ru/download/2015/30697.pdf> (15.05.2020).

266. Тепличное овощеводство на малообъемной гидропонике. – М.: Агропромиздат, 1988. – 136 с.

267. Тепличные грунты, субстраты и минеральное питание. [Электронный ресурс]: информационный агропромышленный портал – Режим доступа : https://rosagroportal.ru/article/current/321/teplichnye_grunty_substraty_i_mineralnoe_pitani (21.02.2020).

268. Тепличный грунт. [Электронный ресурс]: Ботаника. Онлайн энциклопедия растений. – Режим доступа : <http://botane.ru/spravochnik/teplica/teplichnyj-grunt> (18.03.2020).

269. Тепличный Бизнес России-2020. Итоги 2019. Прогнозы на 2020-2023. [Электронный ресурс]: Технологии роста. – Режим доступа : https://t-rost.ru/documents/%D0%94%D0%B5%D0%BC%D0%BE-%D0%A2%D0%B5%D0%BF%D0%BB%D0%B8%D1%87%D0%BD%D1%8B%D0%B9%D0%91%D0%B8%D0%B7%D0%BD%D0%B5%D1%81%D0%A0%D0%BE%D1%81%D1%81%D0%B8%D0%B8-2020.%20%D0%98%D1%82%D0%BE%D0%B3%D0%B8%202019.%D0%9F%D1%80%D0%BE%D0%B3%D0%BD%D0%BE%D0%B7%D1%8B%20%D0%BD%D0%B0%2020-2023_%D0%B2%D0%B5%D1%80%D1%81%D0%B8%D1%8F03.04.2020.pdf (07.10.2021).

270. *Терюшков, В.П.* / В.П. Терюшков, М.В. Фомина, А.В. Чупшев, В.В. Коновалов // *Нива Поволжья.* – 2018. – № 4(49). – С. 175-180.

271. *Терюшков, В.П.* Влияние частоты вращения мешалки и длины ее лопаток на качество смеси / В.П. Терюшков, В.В. Коновалов, М.В. Фомина, А.В. Чуп-

шев, // Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии. – 2019. – № 1. – С. 63 – 69.

272. Технологическая минимизация основной обработки почвы / И. Б. Борисенко, О. Г. Чамурлиев, Г. О. Чамурлиев [и др.] // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агронимия и животноводство. – 2018. – Т. 13, № 1. – С. 35-44.

273. Технологии, приносящие плоды. Какие новинки внедряются в тепличном овощеводстве [Электронный ресурс]: Институт конъюнктуры аграрного рынка. – Режим доступа : <http://ikar.ru/old/press/5956.html> (12.03.2021).

274. Технология выращивания овощных культур на торфяных и минераловатных субстратах – М.: Агропромиздат, 1988. – 150 с.

275. Технология производства и рационального использования компостов в интенсивном земледелии. – М. : ВИМ, 1992. – 25 с.

276. Технология промышленного производства овощей в зимних теплицах – М.: Агропромиздат, 1987. – 110 с.

277. Типовая технология производства и внесения твёрдых органических удобрений. – М. : ВИМ, 1987. – 75 с.

278. Томат и огурец: светокультура в теплицах [Электронный ресурс]: Гавриш. – Режим доступа : <https://gavrishshop.ru/articles/tomat-i-ogurec-svetokultura-v-teplicah> (07.10.2021).

279. *Трубилин, Е.И.* Сельскохозяйственные машины (конструкция, теория и расчет) Учебное пособие. 2-е издание перераб. и дополн. / Е.И. Трубилин, В.А. Абликов, А.Н. Лютый, Л.П. Соломатина. – Краснодар: КГАУ, 2008 – 200 с.

280. *Турецкий, Р. Л.* Влияние зубьев на сопротивление резанью рабочими органами ковшового типа / Р. Л. Турецкий // Техника в сельском хозяйстве. – 1990. – № 2. – С. 17–19.

281. Указ Президента РФ от 21.01.2020 г. № 20 «Об утверждении Доктрины продовольственной безопасности Российской Федерации [Электронный ресурс] : Президент России. Документы. – Режим доступа : <http://www.kremlin.ru/acts/bank/45106>. (17.03.2021).

282. ФГБУ «Центр агроаналитики» [Электронный ресурс] : К 2025 году доля импортных овощей на рынке России может сократиться с 16 до 10%. – Режим доступа: <https://specagro.ru/news/202011/k-2025-godu-dolya-importnykh-ovoschey-na-rynke-rossii-mozhet-sokratitsya-s-16-do-10> (23.02.2021).

283. *Хахимзянов, Р. Р.* Повышение эффективности погрузчика органических удобрений путем оптимизации параметров фрезерно-шнекового питателя : дис. ... канд. техн. наук / Хахимзянов Р. Р. – Саратов, 2001. – 165 с.

284. *Хахимзянов, Р.Р.* Теоретическое исследование параметров, определяющих производительность погрузчиков непрерывного действия буртованных грузов / Р.Р. Хахимзянов // *Фундаментальные исследования.* – 2013. – № 10 (1). – С. 59-62;

285. *Хахимзянов, Р.Р.* Теоретическое исследование процесса разгрузило-пастного питателя погрузчика непрерывного действия / Хахимзянов Р.Р., Везилов А.О., Павлов И.П. // *Научная мысль.* – 2015. – № 3. – С. 87 – 91.

286. *Халанский, В.М.* Сельскохозяйственные машины / Халанский В.М., Горбачев И.В. – М.: КолосС, 2004. – 624 с.

287. *Хван, Д.Н.* Обоснование параметров смесителя непрерывного действия при производстве торфоблоков: диссертация кандидата технических наук / Д.Н. Хван. – Ленинград, 1986. – 176 с.

288. *Хитрова, Н. В.* Повышение эффективности погрузки органических удобрений погрузчиком непрерывного действия и обоснование параметров шнекофрезерного питателя : дис. ... канд. техн. наук / Хитрова Н. В. – Саратов, 1997. – 156 с.

289. *Хмыров, В. Д.* Разбрасыватель гранулированных органических удобрений в питомниках [Текст] / В.Д. Хмыров, Т.В. Гребенникова, П.Ю. Хатунцев, В.Б. Куденко // *Вестник мичуринского государственного аграрного университета* – 2016. – № 3. – С. 171–175.

290. *Хмыров, В.Д.* Ресурсосберегающая технология и технические средства уборки и приготовления органического удобрения из навоза глубокой подстилки: дисс...докт. техн. наук. Мичуринск. – 2011. – 418 с.

291. *Хохлов, В. И.* Подготовка и применение органических удобрений в условиях интенсивного земледелия / В. И. Хохлов // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 1988. – № 12. – С. 11–14.

292. *Цымбалов, А. А.* Совершенствование рабочего процесса и обоснование параметров роторно-ковшового питателя погрузчика твердых органических удобрений: дис. ... канд. техн. наук / Цымбалов А. А. – Саратов, 1987. – 216 с.

293. *Чазова, И.Ю.* Особенности производства продукции овощеводства защищенного грунта в современных экономических условиях // Известия Оренбургского ГАУ. – 2013. – № 4. – С.172 –175.

294. *Черноиванов, В. И.* Научно-технический прогресс – основа развития сельскохозяйственного производства / В. И. Черноиванов // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 2001. – № 2. – С. 2–3.

295. *Шевченко, В. А.* Технология производства продукции растениеводства / В. А. Шевченко [и др.] ; под ред. В. А. Шевченко. – М., 2004 – 382 с.

296. *Шнейкин, В.Д.* Исследование рабочего процесса и методика расчета зерновых погрузочно-отгрузочных скребковых транспортеров. Автореферат дисс...канд. техн. наук. Саратов. – 1974. – 34 с.

297. *Щербаков, С.И.* Требования к машинам для дифференцированного внесения твердых органических удобрений / С.И. Щербаков // Вестник Саратовского Госагроуниверситета им. Н.И. Вавилова – 2008. – № 9. – С. 45 – 47.

298. Экономика сегодня [Электронный ресурс] : Потребление свежих овощей в России увеличится к 2028 году. – Режим доступа: <https://rueconomics.ru/481274-potreblenie-svezhih-ovoshchei-v-rossii-uvelichitsya-k-2028-godu> (18.01.2021).

299. Энциклопедия маркетолога [Электронный ресурс] : Тепличное производство: основные тенденции. – Режим доступа: <http://www.marketing.spb.ru/mr/food/glasshouse.htm> (28.07.2020).

300. *Юдаев, Н. В.* Оптимизация транспортно-производственного процесса и комплекса машин для внесения органических удобрений: дис. ... канд. техн. наук / Юдаев Н. В. – Саратов, 1985. – 219 с.

301. Юскевич, Н.Н. Промышленное цветоводство России / Юскевич Н.Н., Висящева Л.В., Краснова Т.Н. – М.: Росагропромиздат, 1990 – 302 с.
302. Al Naddaf O., Livieratos I., Stamatakis A., Tsirogiannis I., Gizas G. and Savvas D. / Hydraulic characteristics of composted pig manure, perlite, and mixtures of them, and their impact on cucumber grown on bags. // *Sci. Hort.* – 2011. – No 129. – P. 135–141.
303. Almeida R. F., Queiroz I. D. S., Mikhael J. E. R., Oliveira R. C., Borges E. N. / Enriched animal manure as a source of phosphorus in sustainable agriculture. // *International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture.* – 2019. – No 8 (Suppl 1). – P. 203 – 210.
304. Changes in organic C stability within soil aggregates under different fertilization patterns in a greenhouse vegetable field / Hao-an LUAN, Shuo YUAN, Wei GAO, Ji-wei TANG, Ruo-nan LI, Huai-zhi ZHANG, Shao-wen HUANG // *Journal of Integrative Agriculture.* – 2021. – Vol. 20. – No. 10. – P. 2758 – 2771. [https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(21\)63646-8](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(21)63646-8).
305. Comparison of organic and conventional stockless arable systems: A multidisciplinary approach to soil quality evaluation / Mazzoncini M., Canali S., Giovannetti M., Castagnoli M., Tittarelli F., Antichi D., Nannelli R., Cristiani C., Barberi P. // *Appl. Soil Ecol.* – 2010. – No. 44. – P.124–132.
306. Compost spreader CS 95 / Strautmann / URL – <https://www.strautmann.com/cs-streuer>
307. Costa, J. M. The role of substrates in propagation / J. M. Costa // Horticultural Production Chains Group, Wageningen University, by Netherlands Flower TECH. – 2003. – Vol. 6. – No. 7. – P. 22–27. – Перевод. – Режим доступа : <http://www.greenhouses.ru/roles-of-substrates>.
308. Evaluation of greenhouse substrates containing zeolite /Nichols Michael, Savidov N.A. // *Acta Horticulturae.* – 2009. – Vol. 843. – No. 3. – P. 297 – 302. <https://doi: 10.17660 / ActaHortic.2009.843.39>
309. Hupenyu A.M., Mnkeni P.N.S. Optimizing the vermicomposting of organic wastes amended with inorganic materials for production of nutrient-rich organic fertiliz-

ers: a review. *Environmental Science and Pollution Research*. – 2018. – No 25(11). – P. 10577–10595.

310. Influence of the manure spreading machines' working parameters on the qualitative performances of the fertilization process / Vasilica Stefan, Petru Cardei, Lucretia Popa, Ladislau David, Radu Ciuperca // *Agricultural Engineering*. – 2019. – Vol. 58. – No. 2. – P. 115 – 120. [https://doi: https://doi.org/10.35633/inmateh-58-12](https://doi.org/10.35633/inmateh-58-12)

311. Liang Y., Lin X., Yamada S. Soil degradation and prevention in greenhouse production.// *SpringerPlus* 2. – 2013. – No 2. – P. 1–10.

312. Maintaining soil health for crop production in organic greenhouses / A.Gamliela, A.H.C.van Bruggenb // *Scientia Horticulturae*. – 2016. – Vol. 208. – P. 120–130. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.12.030>

313. Mares, Z. Technisch-ekonomishe Paramet von Frotladen / Mares Z. / *Agrartechnik (DDR)*. – 1990. – Vol 40. – No.11. – P. 491–493.

314. Mechanization of soil preparation for greenhouses /Pavlov P.I., Demin E.E., Khakimzyanov R.R., Levchenko G.V., Vezirov A.O. // *International Journal of Mechanical Engineering and Technology*. – 2018. – Vol. 9. – No. 3. – P. 1023 – 1030.

315. Optimization research of fertilizer guiding mechanism based on the discrete element method / Hong Jian Zhang, Chun Bao Xu, Shuang Xi Liu, Hao Jiang, Xuemei Liu, Jin Xing Wang // *Agricultural Engineering*. – 2020. – Vol. 60. – No. 1. – P. 275 – 286.

316. Organic fertilizer spreader series R-M / <https://jympa.ru/> // URL – <https://jympa.ru/razbracivateli/razbrasiiivatelq-organicheskikh-ydobrenij-seriya-r-m/>

317. Organic Greenhouse Production: Towards an Agroecological Approach in the Framework of the New European Regulation - A Review / Tittarelli F. // *Agronomy*. –2020. – Vol.10. – No.72. [https:// doi:10.3390/agronomy10010072](https://doi.org/10.3390/agronomy10010072).

318. Parameter optimization and experiment of orchard double row ditching-fertilizing machine / Hong Jian Zhang, Chun Bao Xu, Shuang Xi Liu, Hao Jiang, Xuemei Liu, Jin Xing Wang // *Agricultural Engineering*. – 2020. – Vol. 62. – No. 3. – P. 9 – 18. [https:// doi.org/10.35633/inmateh-62-01](https://doi.org/10.35633/inmateh-62-01).

319. Substrates and fertilizers for organic container production of herbs, vegetables, and herbaceous ornamental plants grown in greenhouses in the United States / Stephanie E. Burnetta, Neil S. Mattsonb, Kimberly A. Williams c // *Scientia Horticulturae*. – 2016. – Vol. 208. – P. 111–119. [https:// doi.org/10.1016/j.scienta.2016.01.001](https://doi.org/10.1016/j.scienta.2016.01.001).

320. Sustainability in global agriculture driven by organic farming / Eyhorn F., Muller A., Reganold J.P., Frison E., Herren H.R., Luttikholt L., Mueller A., Sanders J., El-Hage Scialabba N., Seufert V. // *Nat. Sustain.* – 2019. No.2. – P. 253–255.

321. The challenge of imbalanced nutrient flows in organic farming systems: A study of organic greenhouses in Southern Germany / Zikeli S., Deil L., Maller K. // *Agric. Ecosyst. Environ.* – 2017. – No. 244. – P. 1–13.

322. The Study the Influence of the Parameters of the Operating Elements on the Technological Indicators of the Operation of the Greenhouse Soil Loader and Mixer / A.O. Vezirov [et al.] // *Advances in Dynamical Systems and Applications*. – 2021. – Vol. 16. – No. 1. – P. 189 – 200.

323. Tuzel Y., Leonardi C. Protected cultivation in Mediterranean region: Trends and needs. *Journal of Agriculture Faculty of Ege University*. – 2010. – No 46(3). – P. 215 – 223.

324. Use of Composted and Fresh Spent Tea Grinds As a Potential Greenhouse Substrate Component / Wells, Daniel Sibley, J.L. Gilliam, Charles Jr, William // *Compost Science and Utilization*. – 2012. – Vol. 20. – No. 3. – P. 181 – 184. <https://doi:10.1080/1065657X.2012.10737044>.

325. Want to mix your own growing media? Do the homework / Brian D. Sparks // URL – <https://www.greenhousegrower.com/production/want-to-mix-your-own-growing-media-do-the-homework/> (21.10.2021).

ПРИЛОЖЕНИЕ

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

**ПАТЕНТ**

НА ПОЛЕЗНУЮ МОДЕЛЬ

№ 211840**Комбинированный укладчик почвенных компонентов**

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

Авторы: *Павлов Павел Иванович (RU), Везиров Александр Олегович (RU)*

Заявка № 2021128154

Приоритет полезной модели 27 сентября 2021 г.

Дата государственной регистрации

в Государственном реестре полезных

моделей Российской Федерации 24 июня 2022 г.

Срок действия исключительного права

на полезную модель истекает 27 сентября 2031 г.

*Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности*

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ
Сертификат 68c8b0077142702a94ceb024545d5c7
Владелец: **Зубов Юрий Сергеевич**
Действителен с 26.05.2022 по 26.05.2023

Ю. С. Зубов

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



(19) RU (11)

211 840⁽¹³⁾ U1

(51) МПК
 A01C 3/00 (2006.01)
 A01B 49/06 (2006.01)

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
 ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) ОПИСАНИЕ ПОЛЕЗНОЙ МОДЕЛИ К ПАТЕНТУ

(52) СПК
 A01C 3/00 (2022.05); A01B 49/06 (2022.05)

(21)(22) Заявка: 2021128154, 27.09.2021

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
27.09.2021

Дата регистрации:
24.06.2022

Приоритет(ы):
 (22) Дата подачи заявки: 27.09.2021

(45) Опубликовано: 24.06.2022 Бюл. № 18

Адрес для переписки:
 410012, Саратовская обл., г. Саратов, пл.
 Театральная, 1, ФГБОУ ВО "Саратовский
 ГАУ", патентный отдел

(72) Автор(ы):
 Павлов Павел Иванович (RU),
 Везиров Александр Олегович (RU)

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

(56) Список документов, цитированных в отчете
 о поиске: RU 2643845 C2, 06.02.2018. US
 1979945 A, 06.11.1934. US 2581263 A, 01.01.1952.
 US 2660439 A, 24.11.1953. JP 7298713 A,
 14.11.1995. RU 201448 U1, 15.12.2020.

(54) Комбинированный укладчик почвенных компонентов

(57) Реферат:

Полезная модель относится к области сельскохозяйственной техники, а именно к агрегатам для обработки почвы и внесения удобрений. Комбинированный укладчик почвенных компонентов содержит установленный на колесный ход кузов, разделенный на три изолированных бункера, прикрепленную к днищу кузова направляющую пластину. В переднем бункере установлен цепной транспортер, в среднем и заднем бункерах установлены выгрузные устройства, содержащие установленные на подшипниках дозирующие барабаны. Для крепления к движителю в передней части кузова расположена сцепка. На передней стенке кузова установлен гидромотор, который через цепную передачу приводит в движение

звездочку ведущего вала цепного транспортера. Цепной транспортер имеет шаг скребков в диапазоне 0,35-0,37 м. Конструкция содержит также размещенную в переднем бункере регулирующую относительно днища ограничивающую заслонку. Вращение к барабанам передается с ведомого вала, отсекатели в среднем и заднем бункерах могут изменять положение относительно днища кузова. Каждые дозирующие барабаны снабжены шестью продольными пластинами. Конструкция комбинированного укладчика позволяет повысить качество укладки почвенных компонентов и увеличить интенсивность их выгрузки.

RU 211840 U1

RU 211840 U1

RU 211 840 U1

Полезная модель относится к области сельскохозяйственной техники, а именно к агрегатам для обработки почвы и внесения удобрений.

Известен комбинированный укладчик почвенных компонентов (патент РФ № 2643845, МПК А01 С3/06, опубл. 27.11.2017, бюл. №33), содержащий установленный на колесный ход кузов и прикрепленную к днищу кузова направляющую пластину, отличающийся тем, что кузов разделен на три изолированных друг от друга бункера, разделенных перегородками, бункер в передней части укладчика оснащен цепным транспортером, средний и задний бункеры имеют конусные выгрузные устройства, снабженные дозирующими барабанами в виде цилиндров с продольно расположенными планками и отсекаателями с приводом от цепного транспортера, что позволяет производить полойную укладку почвенных компонентов.

Данный комбинированный укладчик почвенных компонентов имеет недостаточную производительность и высокую энергоемкость из-за несоответствия параметров и режимов работы оптимальным значениям.

Технической задачей предлагаемой полезной модели является повышение качества укладки почвенных компонентов за счет продольных пластин, расположенных на дозирующих барабанах, и увеличение интенсивности выгрузки почвенных компонентов за счет регулируемых отсекаателей.

Поставленная задача решается в комбинированном укладчике почвенных компонентов, включающем установленный на колесный ход кузов и прикрепленную к днищу кузова направляющую пластину, при этом кузов разделен перегородками на три изолированных друг от друга бункера, бункер в передней части укладчика оснащен цепным транспортером, средний и задний бункеры имеют конусные выгрузные устройства, снабженные дозирующими барабанами в виде цилиндров с продольно расположенными планками и отсекаателями с приводом от цепного транспортера.

Отличием от прототипа является то, что скребки цепного транспортера выполнены с шагом 0,35-0,37 м, а каждый дозирующий барабан имеет по шесть продольных пластин, установленных вдоль поверхности барабана в диаметральном сечении через 60 градусов.

На фиг. 1 представлен общий вид комбинированного укладчика почвенных компонентов.

Комбинированный укладчик почвенных компонентов содержит установленный на колесный ход 8 кузов, разделенный на три изолированных бункера - передний бункер 1, средний 2 и задний 3 бункеры, прикрепленную к днищу кузова направляющую пластину 10. В переднем бункере установлен цепной транспортер 7, в среднем и заднем бункерах установлены выгрузные устройства 11, содержащие установленные на подшипниках дозирующие барабаны 12. Для крепления к движителю в передней части кузова расположена сцепка 4. На передней стенке кузова установлен гидромотор 5, который через цепную передачу 6 приводит в движение звездочку ведущего вала 14 цепного транспортера 7. Цепной транспортер имеет шаг скребков в диапазоне 0,35-0,37 м. Конструкция содержит также размещенную в переднем бункере 1 регулирующую относительно днища ограничивающую заслонку 9. Вращение к барабанам передается с ведомого вала 15, отсекаатели 13 в среднем и заднем бункерах могут изменять положение относительно днища кузова. Каждые дозирующие барабаны 12 снабжены шестью продольными пластинами 16.

Работа комбинированного укладчика осуществляется следующим образом. Укладчик присоединяют к движителю через сцепку 4, за счет чего обеспечивается поступательное движение. При включении гидромотора 5 его ротор через цепную передачу 6 приводит в движение звездочку ведущего вала 14 цепного транспортера 7 в переднем бункере 1.

RU 211 840 U1

Далее вращение передается с ведомого вала 15 транспортера на дозирующие барабаны 12, установленные в выгрузных устройствах 11 среднего 2 и заднего 3 бункеров. Цепной транспортер 7 начинает подачу компонента через регулирующую ограничивающую заслонку 9, далее почвенный компонент движется по направляющей пластине 10. Цепной транспортер имеет шаг скребков в диапазоне 0,35-0,37 м, это позволяет отделить нужное количество почвенных компонентов в переднем бункере и заполнить пространство между скребками. Направляющая пластина 10 позволяет достичь большей равномерности и повышения качества укладки. Подача компонентов в среднем 2 и заднем 3 бункерах осуществляется через регулируемые отсекатели 13, изменяющие свое положение относительно днища бункеров, тем самым регулируется интенсивность выгрузки компонентов. Далее компоненты проходят через дозирующие барабаны 12, расположенные в выгрузных устройствах 11. Дозирующие барабаны посредством расположенных на них продольных пластин 16 обеспечивают равномерную укладку почвенных компонентов. Шесть пластин установлены вдоль поверхности дозирующего барабана, в диаметральном сечении через 60 градусов, чем обеспечивается равномерная подача компонентов.

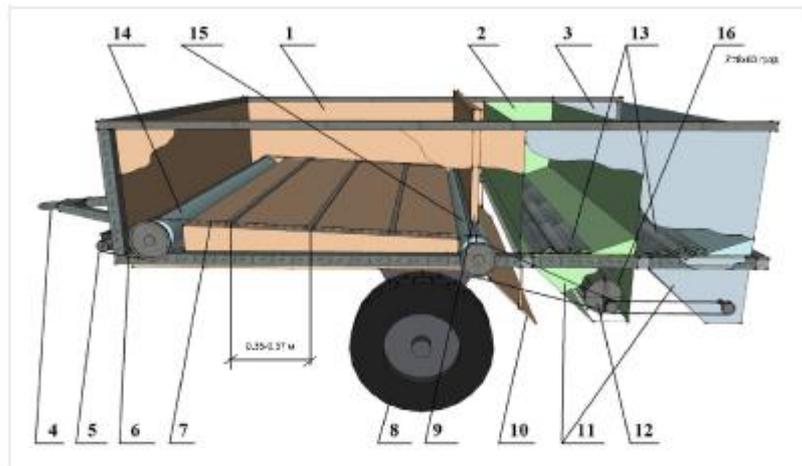
Конструкция комбинированного укладчика позволяет повысить качество укладки почвенных компонентов и увеличить интенсивность их выгрузки.

(57) Формула полезной модели

Комбинированный укладчик почвенных компонентов, содержащий установленный на колесный ход кузов, прикрепленную к днищу кузова направляющую пластину, при этом кузов разделен на три изолированных перегородками друг от друга бункера, бункер в передней части оснащен цепным транспортером, средний и задний бункеры снабжены дозирующими барабанами в виде цилиндров с продольно расположенными планками с приводом от цепного транспортера, отличающийся тем, что скребки цепного транспортера выполнены с шагом 0,35-0,37 м, а каждый дозирующий барабан имеет по шесть продольных пластин, установленных вдоль поверхности барабана в диаметральном сечении через 60 градусов.

RU 211 840 U1

1



Фиг. 1

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



ПАТЕНТ

НА ПОЛЕЗНУЮ МОДЕЛЬ

№ 119337

ПОГРУЗЧИК-СМЕСИТЕЛЬ ОРГАНОМИНЕРАЛЬНОГО
КОМПОСТА

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

Автор(ы): *см. на обороте*

Заявка № 2012114293

Приоритет полезной модели 11 апреля 2012 г.

Зарегистрировано в Государственном реестре полезных моделей Российской Федерации 20 августа 2012 г.

Срок действия патента истекает 11 апреля 2022 г.

Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

Б.П. Симонов



РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(19) **RU** (11) **119 337** (13) **U1**

(51) МПК
B65G 65/22 (2006.01)
A01C 3/04 (2006.01)

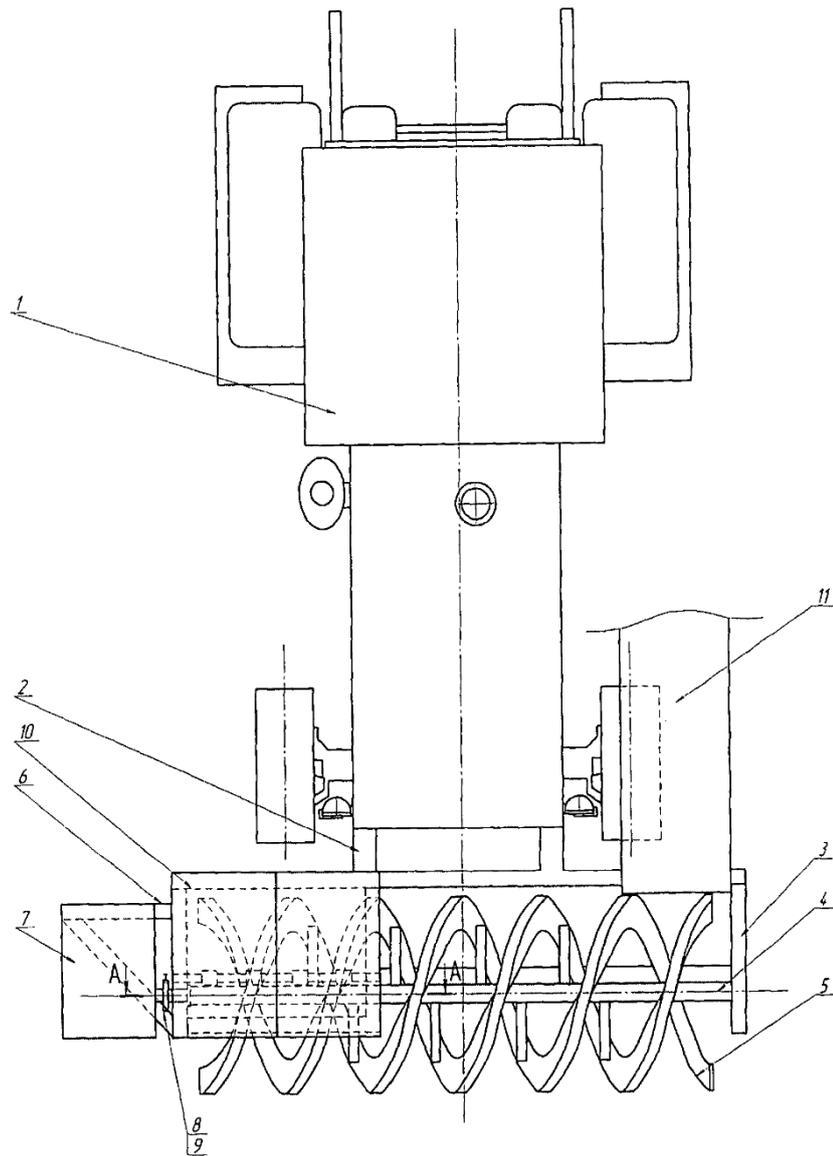
(12) ТИТУЛЬНЫЙ ЛИСТ ОПИСАНИЯ ПОЛЕЗНОЙ МОДЕЛИ К ПАТЕНТУ

<p>(21)(22) Заявка: 2012114293/11, 11.04.2012</p> <p>(24) Дата начала отсчета срока действия патента: 11.04.2012</p> <p>Приоритет(ы): (22) Дата подачи заявки: 11.04.2012</p> <p>(45) Опубликовано: 20.08.2012 Бюл. № 23</p> <p>Адрес для переписки: 410012, г.Саратов, Театральная пл., 1, ФГБОУ ВПО "Саратовский государственный аграрный университет имени Н.И. Вавилова", патентный отдел</p>	<p>(72) Автор(ы): Везиров Александр Олегович (RU), Дзюбан Иван Леонидович (RU), Павлов Павел Иванович (RU)</p> <p>(73) Патентообладатель(и): Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Саратовский государственный аграрный университет имени Н.И. Вавилова" (RU)</p>
---	---

RU
119337
U1

(54) ПОГРУЗЧИК-СМЕСИТЕЛЬ ОРГАНОМИНЕРАЛЬНОГО КОМПоста**(57) Формула полезной модели**

Погрузчик-смеситель органоминерального компоста, содержащий базовую машину, питатель с ленточным шнеком, бункер-дозатор, отгрузочный транспортер, отличающийся тем, что выгрузные отверстия бункера-дозатора расположены над рабочей зоной ленточного шнека, выполненного двухзаходным, причем расположенный внутри бункера-дозатора дозирующий вал кинематически жестко связан с приводом ленточного шнека цепной передачей.



RU 119337 U1

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

**ПАТЕНТ**

НА ПОЛЕЗНУЮ МОДЕЛЬ

№ 117906

РАБОЧИЙ ОРГАН ПОГРУЗЧИКА-СМЕСИТЕЛЯ

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

Автор(ы): *см. на обороте*

Заявка № 2012108283

Приоритет полезной модели 05 марта 2012 г.

Зарегистрировано в Государственном реестре полезных моделей Российской Федерации 10 июля 2012 г.

Срок действия патента истекает 05 марта 2022 г.

*Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности*

Б.П. Симонов



РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

(19) **RU** (11) **117 906** (13) **U1**(51) МПК
B65G 67/24 (2006.01)
B65G 65/22 (2006.01)ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ**(12) ТИТУЛЬНЫЙ ЛИСТ ОПИСАНИЯ ПОЛЕЗНОЙ МОДЕЛИ К ПАТЕНТУ**

(21)(22) Заявка: 2012108283/11, 05.03.2012

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
05.03.2012

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 05.03.2012

(45) Опубликовано: 10.07.2012 Бюл. № 19

Адрес для переписки:

410012, г.Саратов, Театральная пл., 1,
ФГБОУ ВПО "Саратовский
государственный аграрный университет
имени Н.И. Вавилова", патентный отдел

(72) Автор(ы):

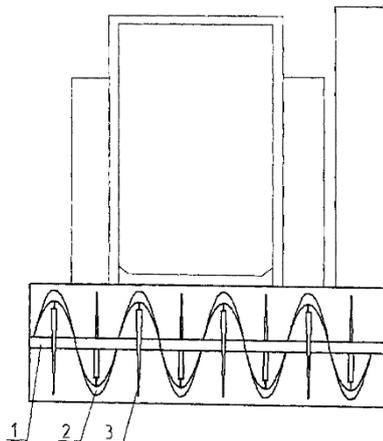
Павлов Павел Иванович (RU),
Левченко Галина Викторовна (RU),
Везилов Александр Олегович (RU),
Дзюбан Иван Леонидович (RU)

(73) Патентообладатель(и):

Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего
профессионального образования
"Саратовский государственный аграрный
университет имени Н.И. Вавилова" (RU)**(54) РАБОЧИЙ ОРГАН ПОГРУЗЧИКА-СМЕСИТЕЛЯ**

(57) Формула полезной модели

Рабочий орган погрузчика-смесителя, содержащий вал, на котором по всей его длине смонтирован ленточный шнек, и отделяющие зубья, отличающийся тем, что зубья установлены парами, причем каждая пара зубьев установлена на одном кронштейне симметрично относительно оси вала, при этом зубья имеют криволинейную форму с острием, вращающимся по большему радиусу, и основанием, вращающимся по меньшему радиусу.



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), Везиров 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

(13)

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

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 11.01.2016

(45) Опубликовано: [31.05.2017](#) Бюл. № [16](#)(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.

Адрес для переписки:

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

(72) Автор(ы):

**Павлов Павел Иванович (RU),
Везиров 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)**

(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.

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 движителями рельсового типа, закрепленные на раме кабину оператора, транспортер с погрузчиком, оснащенным 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 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, 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.

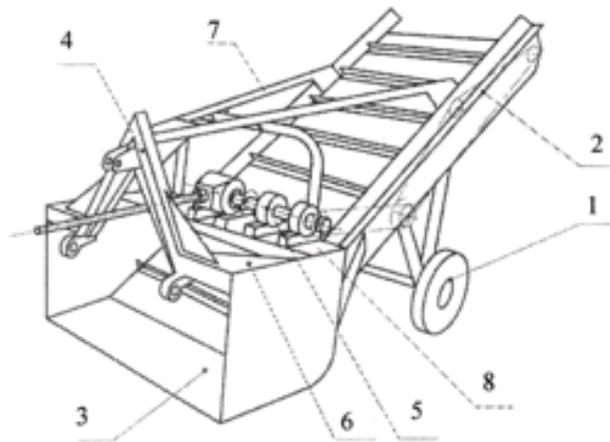
Прицепная машина для удаления и погрузки почвы в теплицах содержит несущую раму 1, транспортер 2, ковш 3, механизм навески 4 и механизм привода 5, нижние 6 и верхние 7 тяги. Ковш 3 соединен с транспортером 2 посредством нижних 6 и верхних 7 тяг, а механизм навески 4 и механизм привода 5 закреплены на 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 сзади 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 передается за счет несущей рамы 1. Ковш 3 внедряется в слой почвы, расположенный на поверхности теплицы. По днищу 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.

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 сзади ковша нижней частью за кромкой днища 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.



Фиг. 1

РЕЗУЛЬТАТЫ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ ЭКСПЕРИМЕНТА
Комбинированный укладчик

Крутящий момент

$$T = -896,743 + 2300,75 \cdot V_u + 308,21 \cdot N_c - 2101,75 \cdot V_u^2 - 5,692 \cdot V_u \cdot N_c - 17,215 \cdot N_c^2$$

Коэффициент корреляции между исходными данными и расчетными

$$R = 0,991468$$

Коэффициент детерминации $R^2 = 0,983008$

	исходные	расчетные
Средние значения	738,7125	738,71225

Стандартное отклонение $s = 28,84337$

	фактический	теоретический
Критерий Фишера	1,017285	3,522

Проходит нулевая гипотеза: различий между опытными данными и расчетными по формуле нет.

Оптимум можно поискать. Если принять, согласно рисунку с контурами количество планок равно 9

Тогда:

$$T = -896,743 + 2300,75 \cdot V_u + 308,21 \cdot 9 - 2101,75 \cdot V_u^2 - 5,692 \cdot V_u \cdot 9 - 17,215 \cdot 9^2$$

Или

$$T = -2101,75 \cdot V_u^2 + (2300,75 - 5,692 \cdot 9) \cdot V_u + 308,21 \cdot 9 - 17,215 \cdot 9^2 - 896,743$$

Производная

$$T' = -4203,5 \cdot V_u + 2249,522$$

Тогда максимум крутящего момента достигается при $N_c = 9$ и $V_u = 0,535155$

Производительность

$$Q = -29,53 + 101,815 \cdot V_u + 8,521 \cdot N_c - 146,25 \cdot V_u^2 - 0,37 \cdot V_u \cdot N_c - 0,534 \cdot N_c^2$$

Статистический анализ

Коэффициент корреляции между исходными данными и расчетными

$$R = 0,934996$$

Коэффициент детерминации $R^2 = 0,874218$

	исходные	расчетные
Средние значения	15,1	15,1185

Стандартное отклонение $s = 1,739791$

	фактический	теоретический
Критерий Фишера	1,141495	3,522

Проходит нулевая гипотеза: различий между опытными данными и расчетными по формуле нет.

Оптimum можно поискать, если принять, согласно рисунку с контурами количество планок равное 8,

тогда:

$$Q = -29,53 + 101,815 \cdot V_u + 8,521 \cdot 8 - 0,37 \cdot V_u \cdot 8 - 0,534 \cdot 8^2$$

или

$$Q = -146,25 \cdot V_u^2 + (101,815 - 0,37 \cdot 8) \cdot V_u + (8,521 \cdot 8 - 29,53 - 0,534 \cdot 8^2)$$

производная

$$Q' = -292,5 \cdot V_u + 98,855$$

Тогда максимум производительности достигается при $N_u = 8$ и $V_u = 0,33797$

Энергоемкость

$$E = 369,898 - 659,24 \cdot V_u - 23,045 \cdot N_c + 1328,423 \cdot V_u^2 - 4,873 \cdot V_u \cdot N_c + 2,134 \cdot N_c^2$$

Коэффициент корреляции между исходными данными и расчетными

$$R = 0,838501$$

Коэффициент детерминации $R^2 = 0,703085$

	исходные	расчетные
Средние значения	248,125	250,112975

Стандартное отклонение $s = 15,96594$

	фактический	теоретический
Критерий Фишера	1,821207	3,522

Проходит нулевая гипотеза: различий между опытными данными и расчетными по формуле нет.

Оптimum можно поискать, если принять, согласно рисунку с контурами количество планок равное 6.

Тогда:

$$E = 369,898 - 659,24 \cdot V_u - 23,045 \cdot 6 + 1328,423 \cdot V_u^2 - 4,873 \cdot V_u \cdot 6 + 2,134 \cdot 6^2$$

Или

$$E = 1328,423 \cdot V_u^2 - (659,24 + 4,873 \cdot 6) \cdot V_u + (369,898 - 23,045 \cdot 6 + 2,134 \cdot 6^2)$$

Производная

$$E' = 2656,846 \cdot V_u - 688,478$$

Тогда минимум энергоемкости достигается при $N_u = 6$ и $V_u = 0,259134$

Мощность

$$P = -4483 + 11503 \cdot V_u + 1541,05 \cdot N_c - 10508,74 \cdot V_u^2 - 28,46 \cdot V_u \cdot N_c - 86,075 \cdot N_c^2$$

Коэффициент корреляции между исходными данными и расчетными

$$R = 0,991468$$

Коэффициент детерминации $R^2 = 0,983008$

	исходные	расчетные
Средние значения	3693,563	3694,09

Стандартное отклонение $s = 144,2179$

	фактический	теоретический
Критерий Фишера	1,017387	3,522

Проходит нулевая гипотеза: различий между опытными данными и расчетными по формуле нет.

Оптимум можно поискать, если принять, согласно рисунку с контурами количество планок равное 9

Тогда:

$$P = -4483 + 11503 \cdot V_u + 1541,05 \cdot 9 - 10508,74 \cdot V_u^2 - 28,46 \cdot V_u \cdot 9 - 86,075 \cdot 9^2$$

Или

$$P = -10508,74 \cdot V_u^2 + (11503 - 28,46 \cdot 9) \cdot V_u - (4483 + 1541,05 \cdot 9 - 86,075 \cdot 9^2)$$

Производная

$$P' = -21017,74 \cdot V_u + 11246,9$$

Тогда максимум мощности достигается при $N_u = 9$ и $V_u = 0,53512$

РЕЗУЛЬТАТЫ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ ЭКСПЕРИМЕНТА
машина для удаления и погрузки грунта
первый двухфакторный эксперимент (v , м/с и h , мм)

Усилие. F, Н от h , м и v , м/с

v , м/с	h , мм	F, Н
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
$R^2 =$	0,985036	Достоверность
S =	225,0176	Среднеквадратичное (стандартное) отклонение

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:

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

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

Производительность. Q, кг/с от h, м. и v, м/с

v, м/с	h, мм	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
R ² =	0,995926	Достоверность (очень высокая)
S=	0,246137	Среднеквадратичное (стандартное) отклонение

Оптима нет

Мощность привода. Р, Вт от h, м. и v, м/с

v, м/с	h, мм	Р, 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
R ² =	0,987392	Достоверность (очень высокая)
S=	255,7585	Среднеквадратичное (стандартное) отклонение

Оптима нет

Энергоемкость. 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

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

$R=$	0,992803	Корреляция между вычисленными и опытными данными
$R^2=$	0,985659	Достоверность
$S=$	16,28327	Среднеквадратичное (стандартное) отклонение

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:

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

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

Второй двухфакторный эксперимент (v , м/с и γ , град)**Усилие. F, Н от γ , град и v , м/с**

v , м/с	γ , град	F, 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 ² =	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°

Производительность. Q, кг/с от γ , град и v м/с

v , м/с	γ , 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

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

R=	0,9937	Корреляция между вычисленными и опытными данными
R ² =	0,9874	Достоверность (очень высокая)
S=	0,463	Среднеквадратичное (стандартное) отклонение

Оптима нет

Мощность привода. Р, Вт от h, м. и v, м/с

v, м/с	γ, град	Р, 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 ² =	0,9888	Достоверность (очень высокая)
S=	125,57	Среднеквадратичное (стандартное) отклонение

Оптима нет

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

v , м/с	γ , 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	590
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

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

R=	0,993	Корреляция между вычисленными и опытными данными
R ² =	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°

**ОЦЕНКА НЕРАВНОМЕРНОСТИ УКЛАДКИ ПОЧВЕННОГО
КОМПОНЕНТА ДЛЯ ДОЗИРУЮЩИХ БАРАБАНОВ**

Барaban 1 (перепревший навоз)							
2 планки		4 планки		6 планок		8 планок	
Номер среза	Значение	Номер среза	Значение	Номер среза	Значение	Номер среза	Значение
1	1,2	1	4,1	1	3,6	1	4
2	4,4	2	3,5	2	4,2	2	3,7
3	2,1	3	4,6	3	3,7	3	4,1
4	5,3	4	2,9	4	4,3	4	3,7
5	3	5	3,6	5	3,9	5	4
6	4,8	6	2,4	6	4,1	6	3,8
7	1,5	7	4,7	7	3,6	7	4,2
8	3,7	8	2,9	8	4,2	8	3,9
9	4,9	9	4,4	9	3,7	9	4,1
10	1,3	10	3,8	10	4,1	10	3,7
Барaban 2 (опилки)							
2 планки		4 планки		6 планок		8 планок	
Номер среза	Значение	Номер среза	Значение	Номер среза	Значение	Номер среза	Значение
1	2,7	1	4,3	1	4,1	1	4
2	5,6	2	2,9	2	3,8	2	3,9
3	3,2	3	4,5	3	4,1	3	4
4	4,6	4	3,2	4	3,6	4	3,7
5	1,8	5	4,4	5	4,1	5	4,1
6	3,4	6	3,3	6	3,9	6	3,8
7	2,2	7	4	7	4,2	7	4,2
8	5,1	8	3,5	8	3,8	8	3,9
9	2,8	9	4,1	9	4	9	4,1
10	4,3	10	3,4	10	3,7	10	3,8

**ОЦЕНКА НЕРАВНОМЕРНОСТИ УКЛАДКИ ПОЧВЕННОГО
КОМПОНЕНТА ДЛЯ ЦЕПОЧНО-ПЛАНЧАТОГО ТРАНСПОРТЕРА**

2 скребка		4 скребка		6 скребков		8 скребков	
Номер среза	Значение						
1	12,6	1	17,3	1	15,4	1	15
2	19	2	14,4	2	17,2	2	17,2
3	14,5	3	17,7	3	15,3	3	16
4	18,2	4	14,2	4	16,6	4	17,1
5	13,9	5	17,6	5	15,2	5	15,4
6	19,4	6	14,7	6	17,1	6	16,9
7	13,1	7	18,3	7	15,9	7	15,7
8	18,4	8	14,9	8	17,6	8	17,1
9	14,8	9	17,7	9	15,4	9	15,8
10	18,5	10	15,2	10	16,8	10	16,4

«УТВЕРЖДАЮ»
 Генеральный директор
 АО «Весна»
 Саратовской области



А.А. Решетов

АКТ

внедрения законченной научно-исследовательской работы

Мы, нижеподписавшиеся, генеральный директор АО «Весна» Саратовской области Решетов А.А. и представитель ФГБОУ ВО «Саратовский государственный аграрный университет им. Н.И. Вавилова», исполнитель работ кандидата технических наук Везиров А.О. составили настоящий акт в том, что результаты научно-исследовательской и опытно-конструкторской работы на тему: «Разработка и обоснование параметров комбинированного укладчика компонентов тепличного грунта», выполненной на кафедре «Математика, механика и инженерная графика», исполнители

А.О. Везиров, П.И. Павлов, Д.В. Мухин, ФГБОУ ВО Саратовский ГАУ, внедрены в АО «Весна» Саратовской области путем использования в течение трех месяцев 2017 года разработанного по результатам исследований комбинированного укладчика компонентов тепличного грунта.

Результат внедрения исследования: использование комбинированного укладчика компонентов тепличного грунта при приготовлении тепличного грунта дало возможность предприятию получить годовой экономический эффект в размере 156300 рублей.

Замечания и предложения о дальнейшей работе по внедрению: разработанное техническое средство (комбинированный укладчик компонентов тепличного грунт) следует рекомендовать к внедрению в хозяйствах, занимающихся выращиванием овощей и других культур в условиях теплиц, а также предприятиям занимающимся производством готовых почвенных смесей.

Исполнитель работ

Генеральный директор АО «Весна»

Подпись

А.О. Везиров



А.А. Решетов



АКТ

хозяйственных испытаний комбинированного укладчика компонентов тепличного грунта

Комиссия в составе: председателя комиссии, главного агронома Критского И.Ю. и членов комиссии: главного инженера Медведева С.Л., профессора Павлова П.И., инженера Везирова А.О., аспиранта Мухина Д.В., тракториста Моргунова К.А. составила настоящий акт на хозяйственные испытания и производственную проверку разработанного на кафедре «Математика, механика и инженерная графика» (исполнитель Вези́ров А.О., Павлов П.И., Мухин Д.В.) ФГБОУ ВО «Саратовский государственный аграрный университет им. Н.И. Вавилова» на основании исследований д.т.н. П.И. Павлова, к.т.н. А.О. Везирова и аспиранта Д.В. Мухина опытного образца **комбинированного укладчика компонентов тепличного грунта**.

Испытания и производственная проверка опытного образца комбинированного укладчика компонентов тепличного грунта проводилась в период с 15 мая по 15 августа 2017 года.

Хозяйственные испытания опытного образца комбинированного укладчика компонентов тепличного грунта проводились следующих компонентах: перепревший навоз, торф песок, дерновая земля, шелуха семечек подсолнечника.

При одновременном укладывании компонентов тепличного грунта комбинированным укладчиком, получены следующие показатели:

№	Параметры	Размерность	Значение
1.	Производительность за 1 час чистого времени	т/ч	22
2.	Производительность за 1 час сменного времени	т/ч (кг/с)	15,4
3.	Приводная мощность	кВт	1293,3
4.	Энергоёмкость	Дж/кг	190
5.	Качество укладки	—	0,18...0,25

Продолжение приложения Ж

По результатам производственных испытаний комиссия пришла к выводу, что предлагаемую конструкцию комбинированного укладчика компонентов тепличного грунта можно использовать в тепличных хозяйствах, специализирующихся на выращивании растений на тепличном грунте.

Подписи:

Председатель комиссии:

Главный агроном



Критский И.Ю.

Члены комиссии:

Главный инженер



Медведев С.Л.

Профессор



Павлов П.И.

Инженер



Везиров А.О.

Аспирант



Мухин Д.В.

Тракторист



Моргунов К.А.

Саратовская область
Саратовский район
Открытое акционерное общество
«СОВХОЗ-ВЕСНА»
410080, г. Саратов, а/я 942
ОАО «Совхоз-Весна»

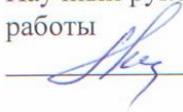
АКТ

№ **о внедрении законченной научно-исследовательской,
На № от **опытно-конструкторской работы****

Мы, нижеподписавшиеся, генеральный директор ОАО «Совхоз-Весна» Саратовской области Саратовского района Решетов А.А. и представитель ФГБОУ ВПО «Саратовский государственный аграрный университет имени Н.И. Вавилова», в лице руководителя работы к.т.н., доцента Левченко Г.В. составили настоящий акт в том, что результаты научно-исследовательской и опытно-конструкторской работы на тему: «Повышение эффективности подготовки почвенной смеси для теплиц обоснованием параметров погрузчика-смесителя», выполненной на кафедре «Детали машин, подъемно-транспортные машины и сопротивление материалов» исполнители: Левченко Г.В., Везилов А.О. ФГБОУ ВПО «Саратовский ГАУ», внедрены в ОАО «Совхоз-Весна» Саратовской области Саратовского района путем использования в течение трех месяцев 2013 года разработанного по результатам исследований погрузчика-смесителя почвы для теплиц.

Результаты внедрения исследований: использование погрузчика-смесителя в технологическом процессе подготовки почвы для теплиц дало возможность предприятию получить годовой экономический эффект по приведенным затратам 78 624рублей.

Замечания и предложения о дальнейшей работе по внедрению: рекомендовать к внедрению на предприятиях, работающих с защищённым грунтом.

Научный руководитель
работы
 Г.В.Левченко

Генеральный директор
ОАО «Совхоз-Весна»
 А.А.Решетов


Саратовская область
Саратовский район
Открытое акционерное общество
«СОВХОЗ-ВЕСНА»
410080, г. Саратов, а/я 942
ОАО "Совхоз-Весна"

№ _____
На № _____ от _____

«УТВЕРЖДАЮ»
Генеральный директор ОАО «Совхоз-Весна»
Саратовского района Саратовской области

Решетов А.А.
« 18 » _____ 2013г.



АКТ

хозяйственных испытаний погрузчика-смесителя почвы для теплиц

Комиссия в составе: председателя комиссии, управляющего блока № 2 Гюлева М.У. и членов комиссии: главного механика Медведева С.Л., доцента Левченко Г.В. и тракториста Ештокина В.Н., составила настоящий акт на хозяйственные испытания и производственную проверку разработанного на кафедре «Детали машин, подъемно-транспортные машины и сопротивление материалов» ФГБОУ ВПО «Саратовский государственный аграрный университет имени Н.И. Вавилова», на основании результатов исследований к.т.н., доцента Левченко Г.В. и соискателя Везирова А.О., опытного образца погрузчика-смесителя почвы для теплиц. Погрузчик-смеситель обслуживает один оператор.

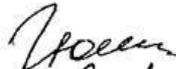
Испытания и производственная проверка проводились в период с 25 февраля по 15 марта 2013года на приготовлении почвы для использования в тепличном производстве..

Производственная проверка погрузчика-смесителя показала его работоспособность и надежность выполнения технологического процесса приготовления почвы.

Годовой экономический эффект от технической эксплуатации составил
78 624 рубля.

По результатам испытаний комиссия пришла к выводу, что погрузчик-смеситель можно использовать в тепличном производстве в соответствии с предложенными рекомендациями: диаметр питателя погрузчика-смесителя 0,6 м, частота вращения $n = 290 \dots 300$ (об/мин), количество зубьев $z = 24$.

Председатель комиссии:

 Гюлев М.У.

Члены комиссии:

 Медведев С.Л.

 Левченко Г.В.

 Ештокин В.Н.



АКТ
хозяйственных испытаний машины для удаления и погрузки
тепличного грунта

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 грунта из теплиц.**

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

При испытании машины для удаления и погрузки тепличного грунта, 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 кандидат технических наук Везиров А.О. 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 грунта из теплиц.

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

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

Исполнитель работ

А.О. Везиров

Генеральный директор

АО «Совхоз-Весна»



А.А. Решетов

Индивидуальный предприниматель Штанько Лариса Анатольевна

Свидетельство о внесении записи в Единый государственный реестр
индивидуальных предпринимателей Серии 89 № 000469791, выдано 17 ноября 2004 года.

ИНН 890500893305
КПП 0

ОКВЭД 01.12.2; 01.12.1; 01.12.31;
ОГРН 304890532200119

р/счет 40802810067409004835 в
Западно-Сибирское отделение №8647
ПАО Сбербанк г. Тюмень

Сбербанк г. Тюмень
к/счет 30101810800000000651
БИК 047102651

629807 Ямало-Ненецкий АО

г. Ноябрьск ул. Магистральная
д.121 кв298
тел. 8-922-284-20-80; 8(922)280-57-59;
e-mail. ns.centre@yandex.ru

АКТ

внедрения законченной научно-исследовательской работы «Разработка и обоснование параметров погрузчика-смесителя тепличного»

Мы, нижеподписавшиеся, индивидуальный предприниматель Штанько Лариса Анатольевна Ноябрьский Садовый Центр Ямало-Ненецкого автономного округа и представитель ФГБОУ ВО «Саратовский государственный аграрный университет им. Н.И. Вавилова», исполнитель работ, кандидат технических наук Везилов Александр Олегович составили настоящий акт в том, что результаты научно-исследовательской и опытно-конструкторской работы на тему: «Разработка и обоснование параметров погрузчика-смесителя тепличного субстрата», выполненной на кафедре «Математика, механика и инженерная графика», исполнители А.О. Везилов, П.И. Павлов ФГБОУ ВО Саратовский ГАУ, внедрены в Ноябрьском Садовом Центре Ямало-Ненецкого автономного округа путем использования в течение трех месяцев 2020 года разработанного по результатам исследований погрузчика смесителя тепличного грунта.

Результат внедрения исследования: использование комбинированного укладчика компонентов тепличного грунта при приготовлении тепличного грунта дало возможность предприятию получить годовой экономический эффект в размере 131 380 рублей.

Замечания и предложения о дальнейшей работе по внедрению: разработанное техническое средство (погрузчик-смеситель тепличного грунта) следует рекомендовать к внедрению в хозяйствах, занимающихся выращиванием цветочной продукции в условиях закрытого грунта с применением тепличных смесей.

Исполнитель работ

 А.О. Везилов

Индивидуальный предприниматель

 Л.А. Штанько



Индивидуальный предприниматель Штанько Лариса Анатольевна

Свидетельство о внесении записи в Единый государственный реестр
индивидуальных предпринимателей Серии 89 № 000469791, выдано 17 ноября 2004 года.

ИНН 890500893305
КПП 0

р/счет 40802810067400004835 в
Западно-Сибирское отделение №8647
ПАО Сбербанк г. Тюмень

629807 Ямало-Ненецкий АО

ОКВЭД 01.12.2; 01.12.1; 01.12.31;
ОГРН 304890332200119

Сбербанк г. Тюмень
к/счет 30101810800000000651
БИК 047102651

г. Ноябрьск ул. Магистральная
д.121 кв298
тел. 8-922-284-20-80; 8(922)280-57-59;
e-mail. ll.sentr@yandex.ru

АКТ

внедрения законченной научно-исследовательской работы
«Разработка и обоснование параметров машины для удаления и погрузки тепличного
грунта»

Мы, нижеподписавшиеся, индивидуальный предприниматель Штанько Лариса Анатольевна Ноябрьский Садовый Центр Ямало-Ненецкого автономного округа и представитель ФГБОУ ВО «Саратовский государственный аграрный университет им. Н.И. Вавилова», исполнитель работ кандидат технических наук Везилов Александр Олегович составили настоящий акт в том, что результаты научно-исследовательской и опытно-конструкторской работы на тему: «**Разработка и обоснование параметров машины для удаления и погрузки тепличного грунта**», выполненной на кафедре «Математика, механика и инженерная графика», исполнители А.О. Везилов, П.И. Павлов, А.В. Ракутина ФГБОУ ВО Саратовский ГАУ, внедрены в Ноябрьском Садовом Центре Ямало-Ненецкого автономного округа путем использования в течение трех месяцев 2020 года разработанного по результатам исследований комбинированного укладчика компонентов тепличного грунта.

Результат внедрения исследования: использование комбинированного укладчика компонентов тепличного грунта при приготовлении тепличного грунта дало возможность предприятию получить годовой экономический эффект в размере 138 480 рублей.

Замечания и предложения о дальнейшей работе по внедрению: разработанное техническое средство (погрузчик-смеситель тепличного грунта) следует рекомендовать к внедрению в хозяйствах, занимающихся выращиванием цветочной продукции в условиях закрытого грунта с применением тепличных смесей.

Исполнитель работ

 _____ А.О. Везилов

Индивидуальный предприниматель

 _____ Л.А. Штанько


Индивидуальный предприниматель Штанько Лариса Анатольевна

Свидетельство о внесении записи в Единый государственный реестр
индивидуальных предпринимателей Серии 89 № 000469791, выдано 17 ноября 2004 года.

ИНН 890500893305
КПП 0

р/счет 40802810067400004835 в
Западно-Сибирское отделение №8647
ПАО Сбербанк г. Тюмень

629807 Ямало-Ненецкий АО

ОКВЭД 01.12.2; 01.12.1; 01.12.31;
ОГРН 304890532200119

Сбербанк г. Тюмень
к/счет 30101810800000000651
БИК 047102651

г. Ноябрьск ул. Магистральная
д.121 кв298
тел. 8-922-284-20-80; 8(922)280-57-59;
e-mail. us.centra@yandex.ru

АКТ

внедрения законченной научно-исследовательской работы «Разработка и обоснование параметров комбинированного укладчика компонентов тепличного грунта»

Мы, нижеподписавшиеся, индивидуальный предприниматель Штанько Лариса Анатольевна Ноябрьский Садовый Центр Ямало-Ненецкого автономного округа и представитель ФГБОУ ВО «Саратовский государственный аграрный университет им. Н.И. Вавилова», исполнитель работ кандидат технических наук Везилов Александр Олегович составили настоящий акт в том, что результаты научно-исследовательской и опытно-конструкторской работы на тему: «Разработка и обоснование параметров комбинированного укладчика компонентов тепличного грунта», выполненной на кафедре «Математика, механика и инженерная графика», исполнители А.О. Везилов, П.И. Павлов, Д.В. Мухин, ФГБОУ ВО Саратовский ГАУ, внедрены в Ноябрьском Садовом Центре Ямало-Ненецкого автономного округа путем использования в течение трех месяцев 2020 года разработанного по результатам исследований комбинированного укладчика компонентов тепличного грунта.

Результат внедрения исследования: использование комбинированного укладчика компонентов тепличного грунта при приготовлении тепличного грунта дало возможность предприятию получить годовой экономический эффект в размере 142 350 рублей.

Замечания и предложения о дальнейшей работе по внедрению: разработанное техническое средство (погрузчик-смеситель тепличного грунта) следует рекомендовать к внедрению в хозяйствах, занимающихся выращиванием цветочной продукции в условиях закрытого грунта с применением тепличных смесей.

Исполнитель работ



А.О. Везилов

Индивидуальный предприниматель






Директор по производству и
складскому хозяйству
ООО «Агрофирма ПАРТНЕР»
А.А. Скворцов
м/п



АКТ

внедрения законченной научно-исследовательской работы

Мы, нижеподписавшиеся, директор по производству и складскому хозяйству ООО «Агрофирма ПАРТНЕР» Скворцов Александр Александрович и представитель ФГБОУ ВО «Саратовский государственный аграрный университет им. Н.И. Вавилова», исполнитель работ кандидат технических наук Везиров Александр Олегович составили настоящий акт в том, что результаты научно-исследовательской и опытно-конструкторской работы на тему: **«Разработка и обоснование параметров комбинированного укладчика, погрузчика-смесителя и машины для удаления тепличного грунта»**, выполненной на кафедре «Математика, механика и инженерная графика» ФГБОУ ВО Саратовский ГАУ, внедрены в ООО «Агрофирма ПАРТНЕР» путем использования в течение 2022 года.

Наименование и количество внедренных машин:

- погрузчик-смеситель компонентов тепличного грунта (патент РФ № 119337) оснащенный специальным шнекофрезерным рабочим органом (патент РФ № 117906) – 1 единица;
- прицепная машина для удаления и погрузки почвы в теплицах (патент РФ № 2621041) – 1 единица;
- комбинированный укладчик почвенных компонентов (патент РФ № 211840) – 1 единица.

Результат внедрения исследования: Экономический эффект от внедрения комбинированный укладчик достигается за счёт возможности точного дозирования и равномерности укладываемого слоя компонентов, что

является условием качественного приготовления тепличного грунта. Возможность одновременной укладки 2-3 компонентов за один проход при оптимизации режимов работы и конструктивных параметров позволяет повысить производительность и снизить энергоёмкость укладки. Использование комбинированного укладчика позволило получить годовой экономический эффект в размере 123 500 рублей.

Экономический эффект от внедрения нового погрузчика-смесителя достигается за счет снижения количества проходов погрузчика, так как благодаря конструкции шнекофрезерного рабочего органа за один проход качество смешивания достигает требуемых значений. Использование погрузчика-смесителя позволило получить годовой экономический эффект в размере 135 800 рублей.

Экономический эффект от внедрения машины для удаления грунта достигается за счет увеличения производительности и исключения затрат на дополнительные работы по погрузке тепличного грунта в транспортное средство. Использование машины позволили получить годовой экономический эффект в размере 141 650 рублей.

Замечания и предложения о дальнейшей работе по внедрению: разработанные технические средства (комбинированный укладчик, погрузчик-смеситель, машина для удаления грунта) следует использовать в единой системе технологических операций и рекомендовать к внедрению в хозяйствах, занимающихся выращиванием овощей и других культур в условиях закрытого грунта, а также предприятиям занимающимся производством готовых почвенных смесей.

Исполнитель работ



Подпись

А.О. Везиров

Директор по производству и
складскому хозяйству
ООО «Агрофирма ПАРТНЕР»



А.А. Скворцов

м/п



**Общество с ограниченной ответственностью
«МК АС ТРЕЙД»**

410012, Россия, Саратовская обл. г. Саратов, ул. Московская д.81 помещение IV, оф. 19
ПАО «СОВКОМБАНК» г. Саратов БИК:044525058 ю/с:30101810045250000058
р/с:40702810411010680862

АКТ

внедрения материалов научно-исследовательской работы

Настоящий акт подтверждает, что ООО «МК АС Трейд» при проектировании и изготовлении машин для приготовления тепличного грунта были использованы результаты теоретических исследований кандидата технических наук А.О. Везирова под руководством и при участии доктора технических наук, профессора ФГОУ ВО «Саратовский государственный аграрный университет имени Н.И. Вавилова» П.И. Павлова, а также патенты:

– № 117906 Российская Федерация, МПК В 65 G 67/24. Рабочий орган погрузчика-смесителя / Павлов П.И., Левченко Г.В., Везиров А.О., Дзюбан И.Л. – № 2012108283/11; заявл. 05.03.2012; опубл. 10.07.2012, Бюл. №19. – 3 с.;

– № 119337 Российская Федерация, МПК В 65 G 65/22. Погрузчик-смеситель органоминерального компоста / Везиров А.О., Дзюбан И.Л., Павлов П.И.– № 2012114293/11; заявл. 11.04.2012; опубл. 20.08.2012, Бюл. №23. – 4 с.;

– № 211840 Российская Федерация, МПК А01С 3/00 А01В 49/06. Комбинированный укладчик почвенных компонентов / Павлов П.И., Везиров А.О. – № 2021128154; заявл. 27.09.2021; опубл. 24.06.2022, Бюл. №18. – 4 с.

Результаты исследований по обоснованию конструктивных и режимных параметров рабочих органов машин для приготовления типичного грунта, а также разработанная техническая документация использованы при изготовлении первых опытных образцов машин: комбинированный укладчик почвенных компонентов, погрузчик-смеситель органоминерального компоста.

Настоящий акт дан для предоставления в диссертационный совет по защите диссертация на соискание ученой степени кандидата и доктора наук.

Директор ООО «МК АС Трейд»

А.А. Санников

8(8452)27-97-60;
8(999)539-77-73;
8(987)313-00-12.
mkastreid@vandex.ru



ПРОТОКОЛ
лабораторных исследований почвенных образцов

Исследования представленных 16 образцов почвенной смеси приготовленные погрузчиком-смесителем показал следующие результаты:

№/№ образца	К степень смешивания	Воздухоёмкость, %	Влагоёмкость, %
1.	0,821	40	60
2.	0,813	35	53
3.	0,784	32	51
4.	0,704	30	45
5.	0,969	32	58
6.	0,954	30	48
7.	0,906	27	45
8.	0,835	25	40
9.	0,975	28	50
10.	0,965	27	47
11.	0,930	25	45
12.	0,851	23	43
13.	0,891	25	50
14.	0,872	23	46
15.	0,830	22	40
16.	0,763	20	38

Образцы № 6, 9, 10 соответствуют требованиям ГОСТ Р 53381-2009 Почвы и грунты. Грунты питательные. Технические условия; ГОСТ 27753.0-88 – ГОСТ 27753.12-88 Грунты тепличные. Методы определения основных агрохимических показателей; ГОСТ 5180-84 Грунты. Методы лабораторного определения физических характеристик; ГОСТ 24160-80 Торф. Методы определения влагоёмкости и водопоглощаемости.

Заведующий агрохимической
лаборатории

Лаборант



Громов Р.С

Никонина Н.В.

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО
ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ РЕГУЛИРОВАНИЮ
И МЕТРОЛОГИИ**

**Федеральное бюджетное учреждение
"Государственный региональный центр стандартизации,
метрологии и испытаний им. Б.А.Дубовикова
в Саратовской области"**

**СВИДЕТЕЛЬСТВО № 1199
О СОСТОЯНИИ ИЗМЕРЕНИЙ
В ЛАБОРАТОРИИ**

Выдано 27 августа 2012 г.

Действительно до 27 августа 2015 г.

Настоящим удостоверяется наличие в агрохимической лаборатории ОАО
"Совхоз-Весна" условий, необходимых для выполнения измерений в
закрепленной за лабораторией области деятельности.

**ПРИЛОЖЕНИЕ: перечень объектов и контролируемых
в них показателей.**

Директор



Б.П.Кузнецов

Приложение к свидетельству
№ 1199 от 27 августа 2012г.

КОНТРОЛИРУЕМЫЕ ОБЪЕКТЫ	ИЗМЕРЯЕМЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ
1	2
ТЕПЛИЧНЫЕ ГРУНТЫ	<p>рН водной суспензии Общая засоленность Фосфор Калий Азот (нитратный) Азот (аммонийный) Кальций Магний</p>
ОГУРЦЫ СВЕЖИЕ	<p>Внешний вид Вкус и запах Размер плодов Нитраты</p>
ТОМАТЫ СВЕЖИЕ, РЕАЛИЗУЕМЫЕ В РОЗНИЧНОЙ ТОРГОВОЙ СЕТИ	<p>Внешний вид Вкус, запах и цвет Степень зрелости Размер плодов по наибольшему поперечному диаметру Нитраты</p>
<p>Директор</p>	 <p>Б.П.Кузнецов</p>