

На правах рукописи

Мухин Дмитрий Вадимович

**ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО
ПРОЦЕССА УКЛАДКИ ПОЧВЕННЫХ КОМПОНЕНТОВ
ПУТЕМ ОБОСНОВАНИЯ ПАРАМЕТРОВ И РЕЖИМОВ
РАБОЧИХ ОРГАНОВ
КОМБИНИРОВАННОГО УКЛАДЧИКА**

Специальность 05.20.01 – Технологии и средства механизации
сельского хозяйства

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Саратов 2019

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

Научный руководитель:

Павлов Павел Иванович

доктор технических наук, профессор

Официальные оппоненты:

Хмыров Виктор Дмитриевич

доктор технических наук, профессор
ФГБОУ ВО Мичуринский ГАУ,
профессор кафедры технологических
процессов и техносферной безопасности

Ишкин Павел Александрович

кандидат технических наук, ФГБОУ ВО
Самарский ГАУ, доцент кафедры
электрификации и автоматизации АПК

Ведущая организация:

Федеральное государственное
бюджетное образовательное учреждение
высшего образования «Пензенский
государственный аграрный университет»

Защита диссертации состоится 20 декабря 2019 г. в 10.00 часов на заседании диссертационного совета Д 220.061.63 на базе ФГБОУ ВО «Саратовский государственный аграрный университет имени Н.И. Вавилова» по адресу: 410056, г. Саратов, ул. Советская, 60, ауд. 325 им. А.В. Дружкина.

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

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

Автореферат разослан «__»_____2019 г.

Ученый секретарь

диссертационного совета

Чекмарев Василий Васильевич

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. Выращивание с/х продукции в закрытом грунте является одним из основных направлений тепличного производства. Основные преимущества данного способа – получение продукции круглый год с высокими вкусовыми качествами, возможность выращивания различных видов сельскохозяйственных культур. В 2017 году общий объем производства овощей составил 16323 тыс. т, из них было выращено в защищенном грунте 668,7 тыс. т или 4,1%. При пересчете на единицу населения страны эта величина составляет 8,2 кг овощей защищенного грунта, или 7,5% от общего потребляемого количества. Для достижения полноценного обеспечения свежими овощами в течение всего года необходимо ускоренное развитие тепличного производства.

Выращивание овощей и другой продукции в теплицах предъявляет высокие требования к подготовке почвенной смеси. Значительные затраты труда и энергии требуются для распределения составляющих почвенную смесь компонентов — земли, торфа, песка, удобрений и др. в буртах перед смешиванием. Машин и механизмов для распределения (укладки) компонентов почвы для теплиц в настоящее время серийно не производится.

Используемые в этих целях бульдозерные навески БН-1, погрузчики ПКУ-0,8; ПЭ-0,8Б, разбрасыватели минеральных и органических удобрений РУН-1,5, РОУ-6 не обеспечивают требуемого качества укладки, имеют высокую энергоемкость, что приводит к общей низкой эффективности процесса.

Для укладки всех компонентов необходимо несколько проходов указанных технологических средств, что приводит к снижению производительности, росту энергоемкости и затрат на приготовление почвенной смеси в целом. Кроме того, не полностью исключается ручной труд.

Для повышения эффективности укладки необходимо достичь роста производительности и снижения энергоемкости укладки компонентов. Одновременная послойная укладка нескольких компонентов позволит сократить количество проходов агрегата, повысить производительность, снизить расход ГСМ. Разработка и обоснование параметров агрегата для одновременной послойной

укладки почвенных компонентов, способного обеспечить требуемую производительность и эффективности укладки является актуальной научной задачей.

Диссертационная работа выполнена в соответствии с приоритетным научным направлением ФГБОУ ВО Саратовский ГАУ «Модернизация инженерно-технического обеспечения АПК» (регистрационный номер 01201151795) – создание высокопроизводительных грузоподъемных машин и другого навесного оборудования; Концепцией развития агропромышленного комплекса Саратовской области до 2020 года (п. 3.4.3 «Модернизация инженерно-технического обеспечения АПК»).

Цель работы: повышение производительности и снижение энергоемкости укладки компонентов почвенных смесей и обоснование конструктивно-режимных параметров комбинированного укладчика для закрытого грунта

Задачи исследований:

- на основе анализа существующих исследований разработать классификацию технических средств, используемых для укладки почвенных компонентов закрытого грунта, установить направления повышения их эффективности и создать новую конструкционную схему укладчика;
- исследовать основные физико-механические свойства компонентов почвенной смеси, используемой для закрытого грунта;
- исследовать теоретически процесс укладки компонентов смеси и получить аналитические выражения по определению производительности, мощности на привод и энергоемкости рабочих органов комбинированного укладчика;
- экспериментальными исследованиями установить влияние конструкционных параметров и режимов движения на производительность, мощность привода, энергоемкость и качество укладки почвенных компонентов в виде вероятностно-статистических моделей и графических зависимостей и обосновать их рациональные значения;
- обосновать эффективность предлагаемой технологии технико-экономическими показателями предлагаемой технологии послышной укладки компонентов с применением комбинированного укладчика в условиях закрытого грунта, провести производственные испытания и разработать рекомендации к внедрению полученных результатов.

Объект исследования – технологический процесс послойной укладки почвенных компонентов рабочими органами комбинированного укладчика в условиях закрытого грунта.

Предмет исследования – зависимости и взаимосвязь показателей эффективности укладки компонентов почвенных смесей с конструкционными параметрами и режимами движения рабочих органов комбинированного укладчика.

Научная новизна работы состоит в:

– разработке классификации технических средств, применяемых для подготовки почвы в теплицах и обосновании новой конструкционно - технологической схемы комбинированного укладчика почвенных компонентов;

– разработке технологического процесса одновременной укладки компонентов почвенной смеси в условиях закрытого грунта с применением комбинированного укладчика;

– получении аналитических выражений для определения производительности, мощности и энергоемкости укладки почвенных компонентов комбинированным укладчиком;

– получении экспериментальных зависимостей и уравнений регрессии, описывающих влияние параметров комбинированного укладчика на производительность, мощность, энергоемкость и качество укладки.

Теоретическая и практическая значимость работы выражается в разработке формул для обоснования и расчета производительности, мощности на привод рабочих органов комбинированного укладчика и энергоемкости процесса укладки. Определены рациональные конструкционные параметры и режимы взаимодействия исполнительных органов с компонентами почвенных смесей.

Разработанный комбинированный укладчик с обоснованными параметрами использован в АО «Совхоз-Весна» Саратовской области. Результаты проведенных исследований рекомендуются для проектно- конструкторских предприятий при разработке и проектировании комбинированного укладчика почвенных смесей закрытого грунта.

Методология и методы исследования основаны на всестороннем изучении существующих разработок и результатов исследований, системном подходе к реализации программы исследований. Теория работы комбинированного укладчика построена на основе теоретической и прикладной механики с получением аналитических выражений для определения показателей эффективности. Экспериментальные исследования проведены с использованием математической статистики, применением многофакторного планирования и существующих, а также разработанных на их основе методик. Результаты экспериментов обрабатывались на ПЭВМ с помощью программного обеспечения MathCad и Excel.

Методологическую основу исследования составляли методы системного анализа и математической статистики. Теоретическое описание работы комбинированного укладчика выполняли на основе математического анализа и классической механики. Экспериментальные исследования проводили с применением многофакторного планирования, использованием существующих и разработанных на их основе методик. Обработку результатов экспериментов осуществляли на ПЭВМ с использованием программ MathCad и Excel.

Научные положения, выносимые на защиту:

- технология одновременной укладки компонентов почвенной смеси для закрытого грунта на основе использования разработанного комбинированного укладчика;
- аналитические зависимости, позволяющие выявить влияние конструктивных и режимных параметров на приводную мощность, крутящий момент, производительность и энергоемкость рабочих органов укладчика;
- результаты экспериментального обоснования конструктивных и режимных параметров комбинированного укладчика.

Степень достоверности и апробации результатов. Достоверность результатов экспериментов подтверждена необходимым количеством проведенных исследований, осуществлением статистического анализа полученных данных при помощи типового программного обеспечения; применением современных методик проведения эксперимента с использованием поверенных измерительных приборов.

Основные положения диссертационной работы были апробированы на конференциях профессорско-преподавательского состава по итогам научно-исследовательской деятельности за 2015-18 гг. Саратовского государственного аграрного университета имени Н.И. Вавилова; на Международном научно-техническом семинаре им. В.В. Михайлова «Проблемы экономичности и эксплуатации автотракторной техники» (Саратов, СГАУ, 2016); на Инновационном форуме, посвященном 80-летию Саратовской области (Саратов, СГУ, 2016); на конференции "Стратегия развития сельского хозяйства в современных условиях – продолжение научного наследия Листопада Г.Е., академика ВАСХНИЛ (РАСХН), доктора технических наук, профессора" (Волгоград, ВолГАУ, 2018).

По результатам исследований опубликовано 8 печатных работ, в том числе 5 в изданиях, рекомендованных ВАК Минобрнауки РФ, 1 патент РФ.

Диссертационная работа состоит из введения, 5 глав, заключения, списка литературы из 113 наименований, приложений. Текст диссертации изложен на 124 страницах, содержит 8 таблиц и 51 рисунок.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении произведено обоснование актуальности темы, приведена степень ее разработанности, научная новизна, изложены основные научные положения, методология и методы исследований, сформулированы цель и задачи.

В первой главе «Состояние вопроса, цель и задачи исследований» рассмотрены существующие технические средства, которые могут применяться для работы с компонентами почвенных смесей, и произведена их классификация по различным признакам. Рассмотрена существующая технологическая схема укладки компонентов почвенных смесей, которая включает следующие операции: доставку компонентов, выгрузку на специальную площадку, загрузку компонентов, последовательную укладку каждого компонента и смешивание. В ходе анализа данной технологической схемы было определено, что для повышения ее эффективности, прежде всего, необходимо сократить количество операций на укладку.

Основываясь на проведенном анализе литературных источников и научных работ, посвященных исследованиям рабочих органов машин, применяемых для укладки компонентов, было установлено, что применяемые в настоящее время агрегаты не позволяют сократить затраты труда путем одновременной послойной укладки компонентов, имеют низкую производительность, высокую энергоемкость и не обеспечивают качественную укладку почвенных компонентов.

Проведенный анализ существующих средств механизации, используемых для приготовления почвенной смеси, позволяет сформулировать основные конструктивно-технические признаки, такие, как исполнение, способ агрегатирования, тип рабочего органа и др., и по ним составить классификацию технических средств. Различают передвижные и мобильные механизированные применяемые для укладки компонентов почвы закрытого грунта.

В настоящее время для укладки компонентов почвенной смеси применяют ряд серийно выпускаемых машин: бульдозеры, погрузчики и разбрасыватели органических или минеральных удобрений. Существующие технологические схемы с применением таких агрегатов имеют ряд недостатков. За один проход машины возможна укладка только одного слоя компонента, применяется ручной труд, что снижает производительность и приводит к росту энергозатрат.

Значительное количество работ посвящено изучению рабочих органов машин, применяемых для материалов, входящих в состав грунта. Процессы внесения и дозирования органических и минеральных удобрений изучали Артюшин А.А., Варламов Г.П., Марченко Н.М., Личман Г.И., Ю. Е. Владимирский, А.А. Каликинский Я.П. Лобачевский, К.Д. Есхожин, К.М. Тлеумбетов и др.

Анализ существующих исследований процесса укладки компонентов почвенных смесей показывает, что исследований одновременной укладки недостаточно. В результате процесс укладки компонентов производится с высокой энергоемкостью и низкой производительностью.

Во второй главе «Теоретическое исследование процесса укладки компонентов почвенной смеси комбинированным укладчиком» разработана-

на новая технологическая схема (рис.1), которая включает в себя следующие основные процессы: 1 – загрузка органических материалов в комбинированный укладчик; 2 – загрузка удобряющих материалов в комбинированный укладчик; 3 – послойная укладка материалов на площадке с помощью комбинированного укладчика; 4 – смешивание и погрузка в транспортное средство; 5 – доставка почвы в теплицу, 6 – распределение по поверхности теплицы.

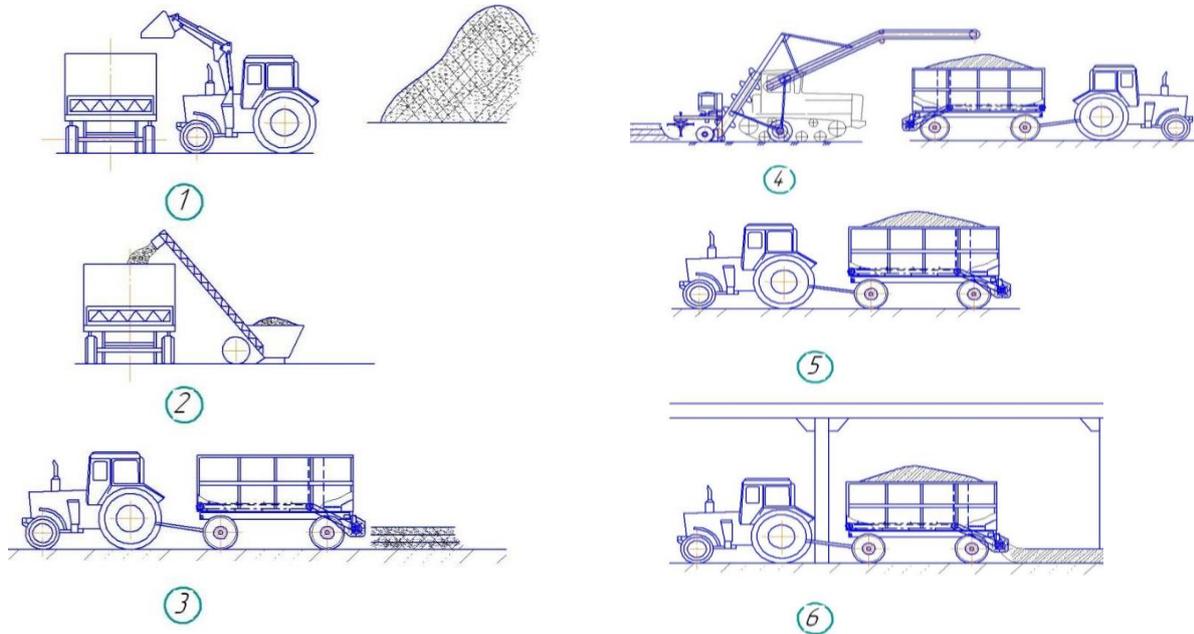


Рисунок 1 – Предложенная технологическая схема укладки компонентов с применением комбинированного укладчика.

Преимущества предложенной схемы технологического процесса заключаются в послойной укладке с одновременным дозированием с помощью комбинированного укладчика нескольких компонентов за один проход. Повышается производительность и снижается энергоемкость подготовки почвенной смеси. Для осуществления предлагаемой технологии разработана конструктивно-технологическая схема комбинированного укладчика (рис. 2).

Комбинированный укладчик (патент на изобретение №2643845) соединяется с двигателем через сцепку 4. При включении гидромотора 5 его ротор через цепную передачу 6 приводит в движение звездочку ведущего вала 14 цепочно-планчатого 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. Цепочно-

планчатый транспортер 7 осуществляет подачу компонента через регулирующую заслонку 9, ограничивающую поступление смеси, далее почвенная смесь движется по направляющей пластине 10, позволяющей достичь большей равномерности и повышения качества укладки. Подача компонентов в среднем 2 и заднем 3 бункерах происходит 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 на соосно установленных подшипниках. Происходит равномерная послойная укладка всех компонентов.

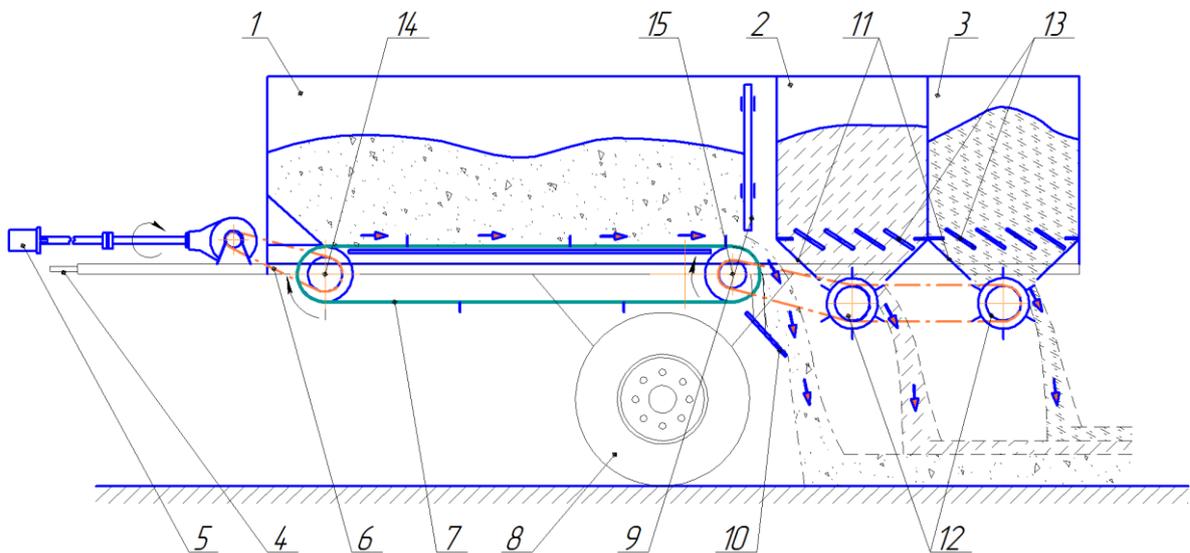


Рисунок 2 – Кинематическая схема комбинированного укладчика почвенных компонентов.

Рассмотрен технологический процесс укладки компонентов и определены основные параметры, которые непосредственно влияют на режимы работы укладчика: режимные – частота вращения барабанов n_b (об/мин), угловая скорость барабанов ω_b (рад/с); частота вращения валов транспортера n_t (об/мин), угловая скорость звезд транспортера ω_t (рад/с) барабана; поступательная скорость планок транспортера v_c (м/с), поступательная скорость транспортера v (м/с); конструктивные – число лопаток на барабане z_l (шт.); количество планок транспортера N_c (шт.)

Производительность укладчика Q_y определяется как сумма производительностей $Q_{1Б}$ и $Q_{2Б}$ дозирующих барабанов в среднем и заднем бункерах и производительности цепочно-планчатого транспортера $Q_{цт}$ в переднем бункере.

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

Производительность цепочно-планчатого транспортера (кг/с):

$$Q_{цт} = K_3 B H \rho_{oy} v_{ц}, \quad (2)$$

где K_3 – коэффициент учитывающий заполнение межпланочного пространства, B и H – ширина и высота планок (м), ρ_{oy} – плотность органических удобрений (кг/м³), $v_{ц}$ – скорость движения цепей с планками (м/с).

Производительность (кг/с), дозирующих барабанов:

$$Q_B = \rho_{мк} V_{мк} / t_B, \quad (3)$$

где $\rho_{мк}$ – средняя плотность компонента, кг/м³; $V_{мк}$ – объем компонента, подаваемого дозирующим барабаном из бункера за один оборот, м³; t_B – время подачи объема $V_{мк}$, с. Время $t_B = 1 / n_k$ где n_k – частота вращения барабана, с⁻¹.

Объем $V_{мк}$ компонента определяется конструкцией дозирующих барабанов. Для цилиндра с продольными лопатками:

$$V_{мк} = K_{3л} V_{лл} z_{л}, \quad (4)$$

где $V_{лл}$ – объем компонентов в межлопаточном пространстве, м³; $z_{л}$ – число лопаток на барабане, шт; $K_{3л}$ – коэффициент заполнения межлопаточного пространства.

$$V_{лл} = A_{л} b_{л}, \quad (5)$$

где $A_{л}$ – площадь боковой проекции межлопаточного пространства, м²;

$b_{л}$ – ширина лопатки, м.

Для производительности комбинированного укладчика получим выражение

$$Q_y = K_3 B H \rho_{oy} v_{ц} + \rho_{мк1} K_{3л} \pi \left(\frac{\alpha_{n1}}{2\pi} \right) \frac{D_{н1}^2 - D_{в1}^2}{4} b_{л1} z_{л1} n_{к2} + \\ + \rho_{мк2} K_{3л} \pi \left(\frac{\alpha_{n2}}{2\pi} \right) \frac{D_{н2}^2 - D_{в2}^2}{4} b_{л2} z_{л2} n_{к2}. \quad (6)$$

Для определения мощности необходимой для привода и энергоемкости процесса укладки проведен анализ взаимодействия рабочих органов с почвенными компонентами.

Усилие планки $F_{ск}$ будет преодолевать следующие сопротивления: - сопротивление $F_{сд}$ отделения слоя сдвигом от основного массива; - сопротивление $F_{трп}$ от трения отделяемого слоя по образующейся поверхности самого материала; - усилие $F_{трн}$ от трения отделяемого слоя по поверхности настила

$$F_{ск} = F_{сд} + F_{трп} + F_{трн} \quad (7)$$

$$F_{ск} = A_{сд}\tau_{сд} + mgf_{вн} + mgf_m = b_{ск}h_{ск}\tau_{ск} + \rho_{оу}b_{ск}l_{ск}h_{оу}gf_{вн} + \rho_{оу}b_{ск}l_{ск}h_{оу}gf_m, \quad (8)$$

где $\tau_{ск}$ – напряжение скалывания, $b_{ск}$, $h_{ск}$, $l_{ск}$ – ширина, высота и длина планки цепочно-планчатого транспортера, $f_{вн}$ – коэффициент внутреннего трения.

Усилие сопротивления от уплотнения удобрения перед шиберной заслонкой:

$$F_y = \sigma A_y = \sigma b_{ск} h_y, \quad (9)$$

где σ – напряжение крошения.

Таким образом, усилие для перемещения при работе цепи с планками будет определяться по выражению:

$$\begin{aligned} F_{цс} &= \sum F_{ск} + F_y = (F_{сд} + F_{трп} + F_{трн}) \frac{l_{трп}}{l_{ск}} + F_y = \\ &= (b_{ск}h_{ск}\tau_{ск} + \rho_{оу}b_{ск}l_{ск}h_{оу}gf_{вн} + \rho_{оу}b_{ск}l_{ск}h_{оу}gf_m) \frac{l_{трп}}{l_{ск}} + F_y. \end{aligned} \quad (10)$$

Взаимодействие рабочих органов дозирующего барабана с компонентами характеризуется суммой сил (рис.3).

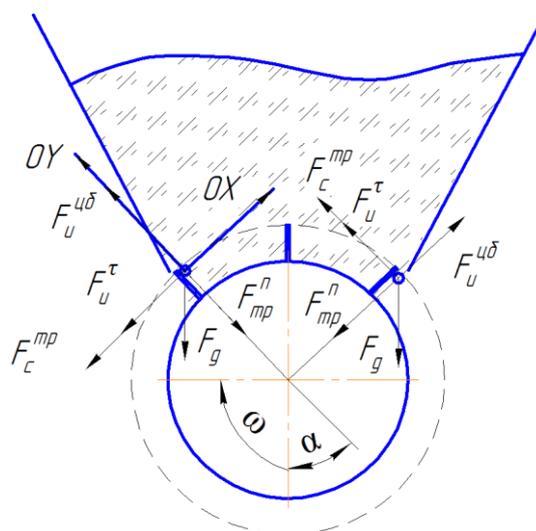


Рисунок 3 – Взаимодействие сил в дозирующем барабане.

Искомой величиной будет усилие на лопатке. Исходя из уравнения проекции всех сил на ось OX, и, согласно принципу Д'Аламбера, можно записать:

$$F_{\pi} = F_{\text{и}}^{\tau} + F_c^{\text{TP}} - F_g \cos\beta. \quad (11)$$

Анализ уравнения показывает, что основной силой сопротивления движению лопатки является сила межслойного трения; дополнительно необходимо преодолевать тангенциальную силу инерции F_u .

$$F_{\text{и}}^{\tau} = ma = m \frac{(v-v_0)^2}{2t} = m \frac{v^2}{2t}. \quad (12)$$

Окружная скорость вращения барабана определяется выражением:

$$v_B = \omega_{\delta} R_{\delta}. \quad (13)$$

где ω_{δ} – угловая скорость барабана, а R_{δ} – радиус барабана, то данное выражение можно подставить в формулу:

$$F_{\text{и}}^{\tau} = m \frac{\omega_{\delta} R_{\delta}}{2t}. \quad (14)$$

где t – время разгона частицы от скорости v_{B0} до v_B .

Выражение для определения силы трения сдвига:

$$F_c^{\text{TP}} = f_{\text{вн}} m_{\delta} g, \quad (15)$$

где $f_{\text{вн}}$ – коэффициент внутреннего трения;

m_{δ} – масса всего компонента в бункере.

Итоговая формула для усилия на лопатке:

$$F_{\pi} = m \frac{v^2}{2t} + f_{\text{вн}} m_{\delta} g - mg \cos\beta. \quad (16)$$

Крутящий момент на барабане будет определяться по формуле:

$$T_{\delta} = \frac{z_{\pi} F_{\pi} D_{\delta}}{2}, \quad (17)$$

где z_{π} – количество лопаток, отделяющих компонент в момент времени t .

Мощность, необходимая для привода барабана:

$$P_{\delta} = T_{\delta} \omega_{\delta}. \quad (18)$$

Энергоемкость дозирочного барабана:

$$E_{\delta} = \frac{P_{\delta}}{Q_{\delta}}. \quad (19)$$

Энергоемкость комбинированного укладчика:

$$E = \frac{(b_{\text{СК}} h_{\text{СК}} \tau_{\text{СК}} + \rho_{\text{ОУ}} b_{\text{СК}} l_{\text{СК}} h_{\text{ОУ}} g f_{\text{ВН}} + \rho_{\text{ОУ}} b_{\text{СК}} l_{\text{СК}} h_{\text{ОУ}} g f_m) \cdot v_{\text{ц}} + (\sigma_{\text{КР}} B_3 v_{\text{п.с}} / n z_1) + (m(0,5 \omega D_p) \cdot z) / t}{Q}. \quad (20)$$

В третьей главе «Программа и методика экспериментальных исследований» изложена программа и методика исследований; описание экспериментального образца комбинированного укладчика (рис.4). В ходе проведения экспериментальных исследований производилось изучение физико-механических свойств почвенных смесей и их компонентов; исследование режимных и конструктивных параметров рабочих органов комбинированного укладчика; определение оптимальных значений параметров; сравнение полученных экспериментальных результатов с теоретическими. Программа исследований включала однофакторные и двухфакторные эксперименты.



Рисунок 4 – Общий вид комбинированного укладчика и процесс укладки почвенных компонентов.

В четвертой главе «Результаты экспериментальных исследований» представлены результаты исследований физико-механических свойств компонентов и готовых почвенных смесей.

Для почвенной смеси, состоящей из чернозёма, перепревшего навоза и опилок, плотность составляет $0,6...0,7 \text{ кг/м}^3$, коэффициент трения $0,65...0,8$, сопротивление сжатию $0,05 \text{ кПа}$, сопротивление сдвигу $0,03 \text{ кПа}$. Производительность и энергоёмкость укладки компонентов являются важнейшими показателями эффективности работы укладчика. В результате проведённых экспериментальных исследований получены уравнения регрессии и соответствующие графические зависимости в виде поверхности.

Зависимость производительности дозирующих барабанов от угловой скорости и числа лопаток представлена уравнением (21) и на рисунке 5.

$$Q = -1,863 + 1,163 \cdot \omega + 0,715 \cdot z_n - 0,087 \cdot \omega^2 - 0,004 \cdot z_n \cdot \omega - 0,055 \cdot z_n^2 \quad (21)$$

Анализ полученной зависимости показывает, что с увеличением угловой скорости производительность укладки вначале возрастает, достигает максимума при угловой скорости 6...6,5 рад/с и количества лопаток $N = 6...7$, затем начинает снижаться. Увеличение или уменьшение указанных параметров от оптимальной области приводит к снижению производительности.

Установлено влияние количества планок и их линейной скорости на производительность укладки компонента цепочно-планчатым транспортером (рис.6). Получено уравнение регрессии:

$$Q = -29,53 + 101,815 \cdot V_u + 8,521 \cdot N_c - 146,25 \cdot V_u^2 - 0,37 \cdot V_u \cdot N_c - 0,534 \cdot N_c^2 \quad (22)$$

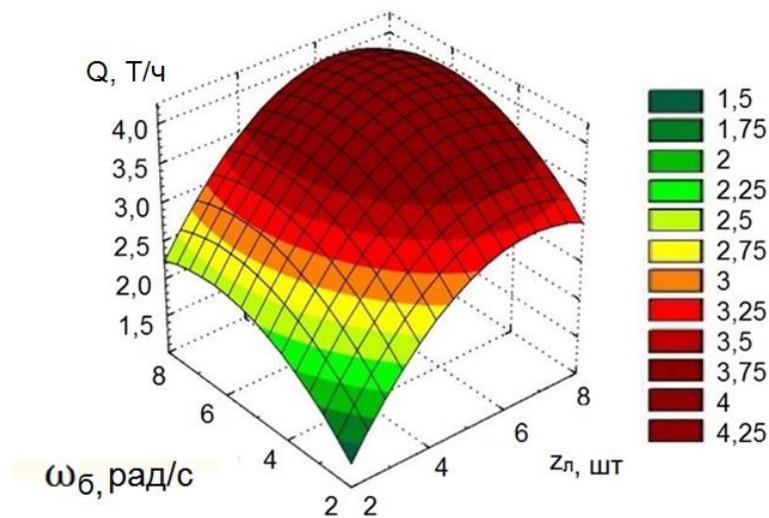


Рисунок 5 – Зависимость производительности дозирующих барабанов от угловой скорости и числа лопаток.

Анализ результатов позволил установить область максимальной производительности при значениях скорости с 0,33 до 0,37 м/с и количества планок $N_c = 7...8$, что соответствует шагу планок 0,36...0,4 м. Изменение параметров от оптимального значения приводит к снижению производительности.

Проведенные эксперименты и последующая обработка полученных данных позволили получить графическую зависимость, представленную на рисунке 7. Данной зависимости соответствует уравнение регрессии (23), описывающее изменение энергоемкости дозирующих барабанов:

$$E = 2,3 + 0,3 \cdot \omega - 0,652 \cdot N - 0,0001562 \cdot \omega^2 - 0,006 \cdot N \cdot \omega + 0,035 \cdot N^2 \quad (23)$$

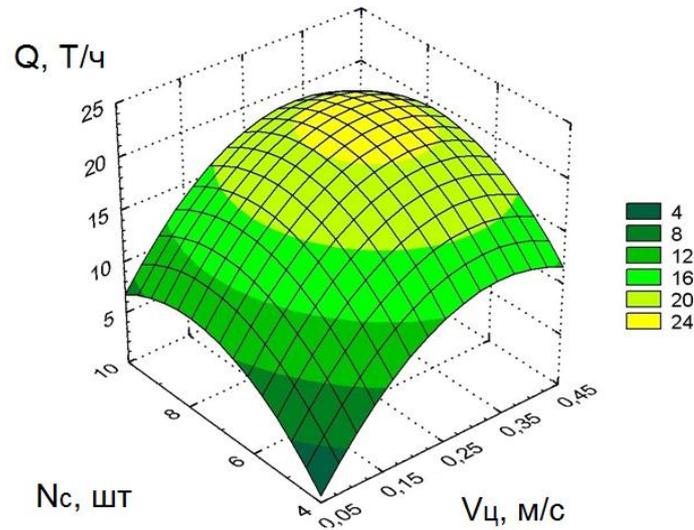


Рисунок 6 – Зависимость производительности укладки компонента почвенной смеси от скорости цепи и количества планок.

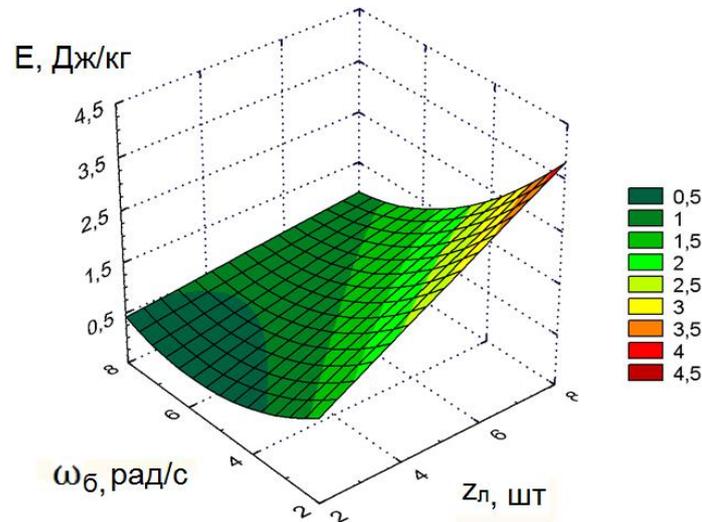


Рисунок 7 – Графическая зависимость энергоемкости от угловой скорости и количества лопаток дозирующего барабана.

По экспериментальным данным для производительности и приводной мощности, получены значения энергоемкости цепочно-планчатого транспортера в различных точках плана исследований.

В результате обработки построено уравнение регрессии (24) и соответствующая графическая зависимость (рис. 8).

$$E = 369,898 - 659,24 \cdot V_{ц} - 23,045 \cdot N_{с} + 1328,423 \times V_{ц}^2 - 4,873 \cdot V_{ц} \cdot N_{с} + 2,134 \cdot N_{с}^2 \quad (24)$$

Анализ уравнения и соответствующей поверхности отклика показывает, что минимальная энергоемкость достигается при $V_{ц} = 0,31 \dots 0,34$ м/с и количестве планок 6...7, что соответствует шагу планок 0,35...0,37 м.

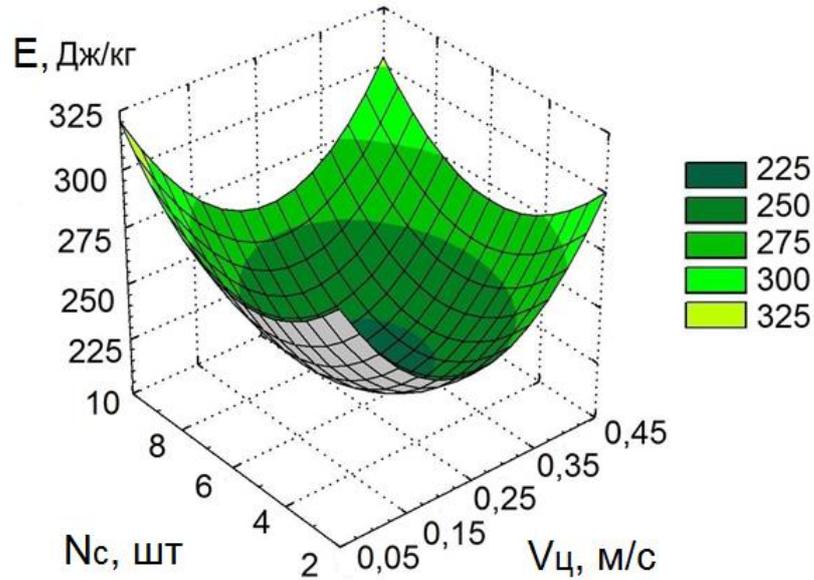


Рисунок 8 – Влияние скорости цепи и количества планок транспортера на энергоёмкость комбинированного укладчика.

Качество укладки компонентов оценивалось среднеквадратичной неравномерностью. Определялось среднее значение толщины каждого слоя:

$$\bar{X} = \sum_{i=1}^n x_i / n, \quad (25)$$

где x_i – значения толщины в разных участках, n – количество срезов.

Затем определялось среднеквадратичное отклонение:

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{X})^2}{n-1}} \quad (26)$$

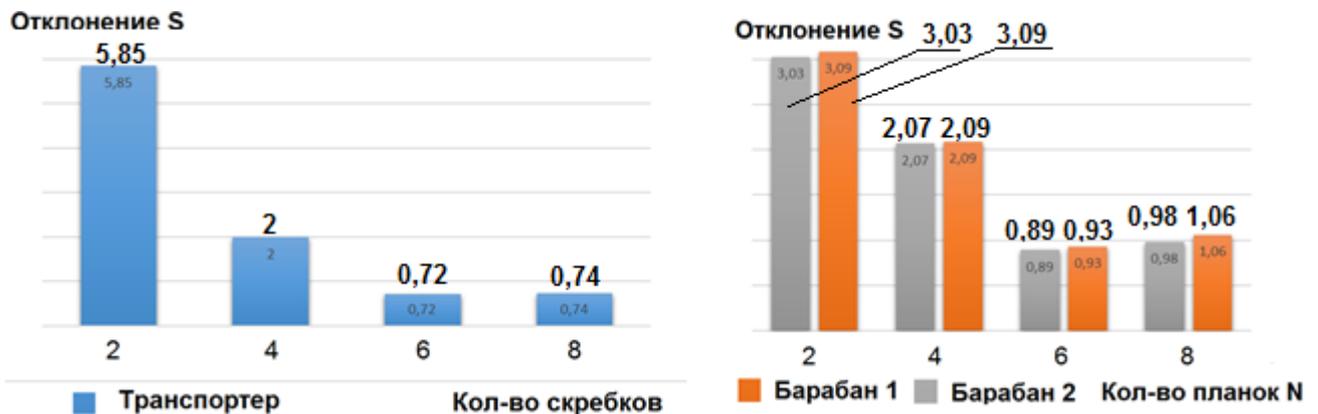


Рисунок 9 – Графики среднеквадратичного отклонения толщины слоя компонента для цепочно-планчатого транспортера (слева) и для дозирующих барабанов (справа).

Измерения проводились для всех применяемых в укладчике рабочих органов, и далее с помощью приведенных выражений были получены графики неравномерности укладки для серии опытов (рис.9).

Проверена сходимость результатов эксперимента с теоретическими расчетами. На рис. 10 изображены теоретическая и экспериментальная зависимости энергоемкости цепного транспортера укладчика от скорости движения цепи $V_{ц}$.

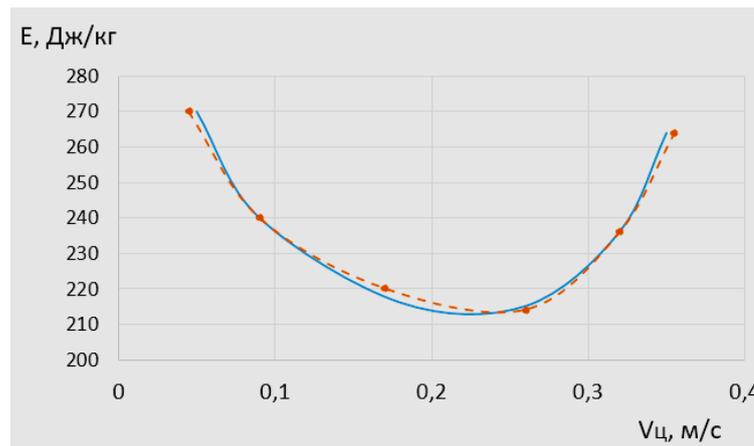


Рисунок 10 – Сходимость теоретической (2) и экспериментальной зависимостей (1) энергоемкости E транспортера от скорости движения цепи $V_{ц}$.

В пятой главе «Производственная проверка и экономическое обоснование» произведена оценка экономической эффективности комбинированного укладчика. Расчет экономической эффективности проводился в сравнении с существующей технологией с применением бульдозерной навески. Экономический эффект достигается за счет одновременной послойной укладки до трех компонентов. Годовой экономический эффект составил 336 691 рубль.

Заключение

В результате проведенных исследований в диссертационной работе предложена новая технология укладки компонентов почвенных смесей для закрытого грунта и новая конструкционно-технологическая схема комбинированного укладчика. Получены аналитические выражения для определения производительности, мощности привода и энергоемкости комбинированного укладчика, экспериментальные зависимости и уравнения регрессии позволили обосновать рациональные параметры его рабочих органов, а также экспериментально подтверждено высокое качество укладки компонентов. Технико-экономические

показатели подтверждают эффективность полученных результатов исследований.

1. Анализ существующих исследований, литературных источников и производственного опыта показал недостаточную производительность существующих машин и высокую энергоёмкость процесса подготовки почвы для теплиц. В существующем технологическом процессе используется несколько машин, последовательно выполняющих укладку компонентов перед смешиванием. Процесс укладки компонентов почвенных смесей практически не исследовался, вследствие этого имеет место недостаточная эффективность используемых для закрытого грунта технических средств.

2. Разработана классификация технических средств, применяемых для укладки компонентов почвенных смесей, используемых в закрытом грунте. Основным направлением совершенствования технологического процесса является осуществление одновременной укладки трех и более компонентов. В соответствии с этим разработана новая конструкционно-технологическая схема комбинированного укладчика (патент на изобретение № 2643845) для послойной укладки почвенных компонентов.

3. В результате теоретических исследований получены аналитические выражения для определения крутящего момента, мощности привода рабочих органов (2.29), производительности (2.8) и энергоёмкости (2.30). Производительность имеет нелинейную зависимость от конструктивных и режимных параметров определяемую заполнением рабочего пространства цепочно-планчатого транспортера и дозирующих барабанов, компонентами смеси. Квадратичная зависимость энергоёмкости обусловлена взаимодействием производительности и приводной мощности рабочих органов комбинированного укладчика.

4. Исследованием физико-механических свойств компонентов и почвенных смесей установлено, что плотность почвенной смеси, состоящей из чернозёма, перепревшего навоза и опилок, составляет $0,6-0,7 \text{ кг/м}^3$, коэффициент трения $0,65-0,8$, сопротивление сжатию $0,05 \text{ кПа}$, сопротивление сдвигу $0,03 \text{ кПа}$.

5. Получены экспериментальные зависимости и уравнения регрессии, описывающие влияние конструктивных и режимных параметров на производи-

тельность, крутящий момент, мощность привода рабочих органов, энергоемкость и качество укладки почвенных компонентов. Наибольшая производительность дозирующих барабанов достигается при угловой скорости 6...6,5 рад/с и числе продольных лопаток 6...7; наибольшая производительность цепочно-планчатого транспортера достигается при скорости движения цепи с планками 0,33...0,37 м/с и числе планок 8 при длине транспортера 2,5 м, что соответствует шагу планок 0,31 м. Минимальная энергоемкость работы дозирующих барабанов наблюдается при наибольшей производительности – при угловой скорости 6...6,5 рад/с и числе продольных лопаток 6. Оптимальный показатель энергоемкости цепочно-планчатого транспортера соответствует скорости движения цепи с планками 0,33...0,35 м/с и шаге планок 0,42 м. При указанных режимных и конструктивных параметрах равномерность высоты слоев имеет среднеквадратичное отклонение $S = 0,18...0,25$, что обеспечивает качество укладки компонентов почвы.

6. При использовании комбинированного укладчика закрытого грунта в сравнении с существующей технологией в процессе укладки компонентов был получен экономический эффект 336691 рубль за год в ценах на 01.04.2018, а срок окупаемости для дополнительных капитальных вложений составит 0,71 года.

Рекомендации производству

1. При практическом использовании комбинированного укладчика необходимо определить требуемую производительность укладки. Далее назначаются режимы работы цепочно-планчатого транспортера и дозирующих барабанов.
2. Расчет экономических показателей проводится с учетом снижения необходимых технических средств для выполнения процесса.

Перспективы дальнейшей разработки темы

1. Обосновать параметры предлагаемого комбинированного укладчика для процесса одновременной послойной укладки компонентов различных типов почвенных смесей.
2. Провести исследования по дальнейшему повышению комбинированного укладчика при работе с 4 и 5 компонентами.

СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Публикации в изданиях, рекомендованных ВАК

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

2. Мухин Д.В. Использование комбинированного укладчика в технологической схеме приготовления органоминеральных смесей / П.И. Павлов, А.О. Везиров, Д.В. Мухин // Естественные и технические науки, 2018. – №11. – С.320-323

3. Мухин Д.В. Результаты экспериментальных исследований комбинированного укладчика почвенных компонентов для теплиц / П.И. Павлов, В.В. Корсак, А.О. Везиров, Д.В. Мухин // Аграрный научный журнал, 2018. – №10. – С.52-54

4. Мухин Д.В. Исследование влияния конструктивных и режимных параметров комбинированного укладчика на мощность привода рабочих органов / П.И. Павлов, В.В. Корсак, А.О. Везиров, Д.В. Мухин // Аграрный научный журнал, 2019. – №5. – С.82-85

5. Мухин Д.В. Исследование энергоемкости дозирующего барабана комбинированного укладчика / П.И. Павлов, В.В. Корсак, А.О. Везиров, Д.В. Мухин // Естественные и технические науки, 2019. – №7. – С.202-205

Патенты

6. Пат. 2643845 Российская Федерация, МПК А 01 С 3/06 (2006.01) Комбинированный укладчик почвенных компонентов / Мухин Д.В, Павлов П.И.; заявитель и патентообладатель Сар. гос. агр. ун-т им. Н.И. Вавилова. – 2016120102/18; опубл. 27.11.2017, Бюл. №33. – 5 с.: ил.

Публикации в других изданиях

7. Мухин Д.В. Комбинированный укладчик почвенных компонентов для теплиц / П.И. Павлов, А.О. Везиров, Д.В. Мухин, // Научная мысль, 2016. – №5. – С.36-38.

8. Мухин Д.В. Комбинированный укладчик в технологическом процессе подготовки почвы для теплиц / А.О. Везиров, П.И. Павлов, Д.В. Мухин// Стратегия развития сельского хозяйства в современных условиях – продолжение научного наследия Листопада Г. Е., академика ВАСХНИЛ (РАСХН), доктора технических наук, профессора – 2018. – Том 3. – с.79-84.