

На правах рукописи

Везиров Александр Олегович

**ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО
ПРОЦЕССА ПРИГОТОВЛЕНИЯ ПОЧВЕННЫХ СМЕСЕЙ
ПУТЕМ ОБОСНОВАНИЯ
КОНСТРУКТИВНО-РЕЖИМНЫХ ПАРАМЕТРОВ
ПОГРУЗЧИКА-СМЕСИТЕЛЯ**

Специальность 05.20.01 – Технологии и средства
механизации сельского хозяйства

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Саратов 2013

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

Научный руководитель – кандидат технических наук, доцент
Левченко Галина Викторовна

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Процессы и сельскохозяйственные машины в АПК» ФГБОУ ВПО «Саратовский ГАУ»
Демин Евгений Евгеньевич

кандидат технических наук, старший научный сотрудник ГНУ «Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Юго-Востока Российской академии сельскохозяйственных наук»
Худяков Владимир Васильевич

Ведущая организация – ФГБОУ ВПО «Пензенская государственная сельскохозяйственная академия».

Защита диссертации состоится 26 декабря 2013 г. в 14.00 час. на заседании диссертационного совета Д 220.061.03 на базе федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Саратовский государственный аграрный университет имени Н.И. Вавилова» по адресу: 410056, г. Саратов, ул. Советская, 60, ауд. 325.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВПО «Саратовский ГАУ».

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

Автореферат разослан 25 ноября 2013 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета

Василий Васильевич Чекмарев

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. Производство овощей в теплицах является эффективным способом снабжения населения свежей продукцией в течение всего года независимо от погодных условий. Помимо овощей в теплицах выращивают цветы, рассаду и другие виды продукции растениеводства. В настоящее время площадь закрытого грунта в России составляет около 2,9 тыс. га. Всего в закрытом грунте выращивают 12 % огурцов и томатов, производимых в России. К 2020 г. планируется производство овощей закрытого грунта увеличить в 3,5 раза.

Однако выращивание продукции в закрытом грунте требует большого объема работ с почвой, подготовка которой является очень важной операцией в технологическом процессе тепличного производства. От нее во многом зависит будущая урожайность выращиваемых культур. Почва для теплиц представляет собой смесь нескольких компонентов: торфа, навоза, чернозема, песка, опилок, минеральных удобрений и др. Эти компоненты должны быть хорошо перемешаны и распределены по площади теплицы.

В настоящее время специальных машин для работы с почвой в теплицах серийно практически не выпускается. Для этого приспособляют машины другого назначения, например выгрузчик МВС-4, погрузчик ПНД-250. Однако эти машины не обеспечивают необходимого качества смешивания, поэтому доводить почву до требуемого состояния приходится с использованием ручного труда. Это приводит к росту затрат на приготовление почвенной смеси и на производство продукции в целом. Таким образом, разработка и обоснование параметров погрузчика-смесителя для приготовления почвенной смеси в теплицах, позволяющего полностью механизировать данный процесс, повысить производительность и снизить себестоимость готовой продукции, являются актуальными направлениями исследований.

Степень разработанности темы. Разработан ряд конструктивно-технологических схем погрузчиков-смесителей, изучено взаимодействие их рабочих органов с органическими удобрениями. Однако погрузчики-смесители органических удобрений не в полной мере соответствуют условиям работы в теплицах и не позволяют готовить качественную почвенную смесь, соответствующую агротехническим требованиям для использования в теплицах. Исследований процесса смешивания, направленных на обоснование параметров мобильных погрузчиков-смесителей почвы для теплиц, в настоящее время недостаточно.

Цель работы – повышение производительности и качества приготовления почвенных смесей для теплиц путем обоснования конструктивно-режимных параметров погрузчика-смесителя.

Задачи исследования:

провести анализ существующих технологических схем и технических средств для приготовления почвенных смесей и определить причины их недостаточной эффективности;

обосновать конструктивно-технологическую схему погрузчика-смесителя с рабочим органом, обеспечивающим повышение производительности и качества приготовления почвенных смесей;

теоретически исследовать процессы взаимодействия рабочего органа с компонентами почвенной смеси и получить аналитические выражения для определения производительности и конструктивно-режимных параметров;

получить экспериментальные зависимости и описывающие их вероятностно-статистические модели производительности, качества смешивания и технологических параметров почвенной смеси от конструктивных и режимных параметров для компонентов с различными физико-механическими свойствами;

провести производственные испытания погрузчика-смесителя и дать технико-экономическую оценку эффективности его использования.

Объект исследования – технологический процесс смешивания компонентов и погрузки почвенной смеси для теплиц.

Предмет исследования – закономерности изменения производительности, качества смешивания компонентов почвенной смеси, ее воздухоемкости и влагоемкости от конструктивных и режимных параметров рабочего органа погрузчика-смесителя.

Научная новизна работы заключается в обосновании конструктивно-технологической схемы погрузчика-смесителя, его рабочего органа и исследовании технологического процесса смешивания и погрузки почвенной смеси; получении аналитических и экспериментальных зависимостей производительности и качества смешивания; теоретическом и экспериментальном обосновании оптимальных режимных и конструктивных параметров предлагаемого погрузчика-смесителя.

Теоретическая и практическая значимость работы состоит в теоретическом и экспериментальном обосновании конструктивных и режимных параметров, результаты которого приняты за основу при создании опытного образца погрузчика-смесителя со шнекофрезерным рабочим органом. Предлагаемый погрузчик-смеситель применяли при приготовлении почвенных смесей в ОАО «Совхоз – Весна» Саратовского района Саратовской области. Полученные результаты могут быть использованы проектными и конструкторскими организациями при определении параметров погрузчика-смесителя для различных условий на стадии проектирования.

Методология исследований основана на методах системного анализа и включает в себя теоретическую и экспериментальную составляющие. Теоретические исследования проводили на основе математического анализа с использованием положений классической и прикладной механики. Экспериментальные исследования проводили в производственных условиях тепличного хозяйства с использованием теории планирования многофакторного эксперимента и математической статистики.

Научные положения, выносимые на защиту:

- теоретическое обоснование конструктивно-технологической схемы погрузчика-смесителя со шнекофрезерным рабочим органом;
- аналитические и регрессионные выражения, описывающие влияние основных конструктивных и режимных параметров на производительность и качество смешивания;
- результаты теоретической и экспериментальной оптимизации конструктивных и режимных параметров.

Степень достоверности и апробация результатов. Основные положения работы были доложены на конференциях профессорско-преподавательского состава по итогам научно-исследовательской работы ФГБОУ ВПО «Саратовский ГАУ» (Саратов, 2008–2012); на Международной научно-практической конференции, посвященной 70-летию профессора В.Ф. Дубинина (Саратов, СГАУ, 2010); на Всероссийской научно-практической конференции молодых учёных «Инновации и актуальные проблемы техники и технологий» (Саратов, СГТУ, 2010); на Международном научно-техническом семинаре им. В.В. Михайлова «Проблемы экономичности и эксплуатации автотракторной техники» (Саратов, СГАУ, 2012); на Международной конференции, посвященной 105-летию со дня рождения профессора В.В. Красникова «Новые технологии и технические средства в АПК» (Саратов, СГАУ, 2013). Проект «Погрузчик-смеситель тепличного субстрата» был представлен в 2011 году на VI Саратовском салоне изобретений, инноваций и инвестиций и награжден бронзовой медалью и дипломом третьей степени. Результаты теоретических и экспериментальных исследований показали требуемую сходимость. Разработанный погрузчик-смеситель для приготовления почвенных смесей прошел производственную проверку в ОАО «Совхоз – Весна» Саратовского района Саратовской области.

Публикации. По теме диссертации опубликовано 11 работ, в том числе 3 статьи в изданиях, рекомендованных ВАК РФ, получено 2 патента РФ на полезную модель. Объем публикаций составил 1,7 печ. л., из которых 0,9 печ. л. принадлежат лично соискателю.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, пяти глав, общих выводов, списка литературы и приложений. Общий объем – 131 страница машинописного текста и 7 приложений. Основной текст изложен на 116 страницах, содержит 6 таблиц и 43 рисунка. Список литературы включает в себя 131 наименование.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во **введении** обоснована актуальность темы и изложены основные научные положения, выносимые на защиту.

В **первой главе** «Состояние вопроса. Цель и задачи исследований» на основании анализа существующих исследований, литературных источников и производственного опыта установлено, что наряду с выращиванием овощей гидропонным способом в тепличном производстве остается широко распространенным традиционный способ выращивания – в защищенном грунте. Приготовление грунта или почвенной смеси для теплиц является трудоемкой и затратной операцией. Мобильные погрузчики-смесители имеют существенные преимущества, однако исследований с целью обоснования их рабочих органов для теплиц не достаточно. Вследствие этого применяемые погрузчики имеют параметры, не соответствующие эффективным значениям.

Значительное количество работ посвящено изучению теории работы погрузчиков органических удобрений. К ним относятся работы А.А. Артюшина, Н.М. Марченко, А.А. Ковалева, Н.Г. Ковалева, И.И. Лукьяненко, Г.И. Личмана, Н.К. Линника, Н.В. Павлова, В.Ф. Дубинина, П.И. Павлова, Е.Е. Демина, Р.Р. Хакимзянова, Г.В. Левченко, Н.В. Хитровой, Л.В. Гвоздевой и др.

Анализ технологического процесса производства сельскохозяйственной продукции в условиях защищенного грунта показал, что для механизации основных процессов используют в основном технические средства открытого грунта. Для приготовления почвенных смесей применяют погрузчики органических удобрений. Однако качественные показатели получаемых смесей не всегда соответствуют агротехническим требованиям. Данные погрузчики предназначены для работы с большими объемами органических удобрений в условиях крупных хозяйств. Поэтому основные исследования были направлены на получение высокой производительности и на снижение энергоемкости. Процесс смешивания и качественные показатели исследованы в меньшей степени. Рабочие органы, эффективные для погрузки навоза могут быть не достаточно эффективными при приготовлении почвенных смесей.

Во **второй главе** «Теоретическое исследование процесса смешивания компонентов и погрузки почвенной смеси погрузчиком-смесителем» на осно-

вании анализа научных и теоретических исследований представлена разработанная конструктивно-технологическая схема погрузчика-смесителя со шнековым рабочим органом.

Погрузчик-смеситель (патент на № 119337) почвенной смеси состоит из базового трактора 1 (рисунок 1) и шнекового рабочего органа 2, приводимого во вращение от вала отбора мощности трактора через цепную передачу и конический редуктор. В состав погрузчика также входит отгрузочный ленточно-планчатый транспортер 3, приводимый в движение гидромотором и цепной передачей. Элементы погрузчика соединены общей рамой 4.

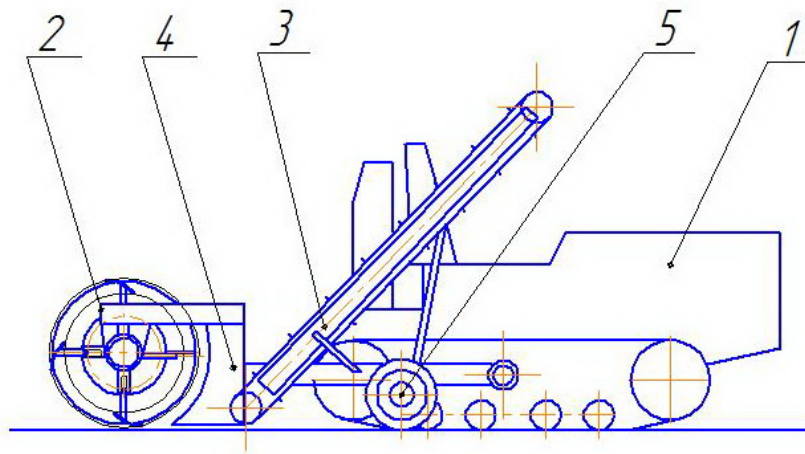


Рисунок 1 – Схема погрузчика-смесителя: 1 – базовый трактор; 2 – шнекофрезерный рабочий орган; 3 – отгрузочный ленточно-планчатый транспортер; 4 – общая рама; 5 – опорное колесо

Захват и перемешивание почвенных компонентов погрузчик-смеситель выполняет шнековым рабочим органом (патент на полезную модель № 117906) оснащенным зубьями с режущими поверхностями специальной формы (рисунок 2). Зубья отделяют части компонентов от основного массива и измельчают.

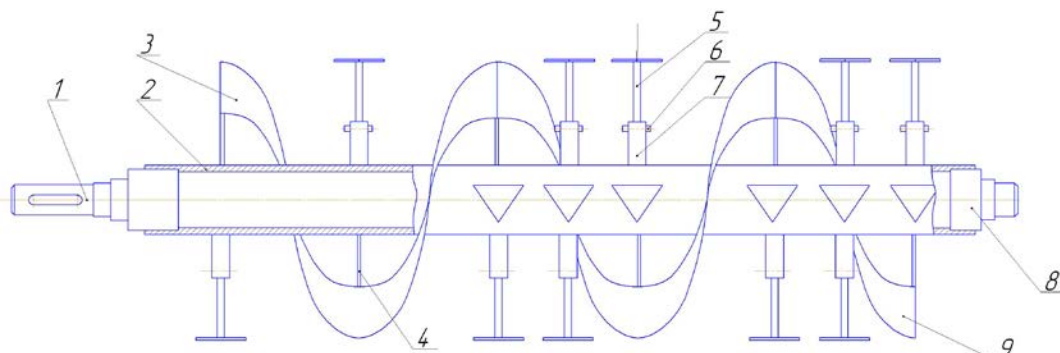


Рисунок 2 – Шнековый рабочий орган: 1, 8 – цапфы; 2 – вал; 3, 9 – лопасть; 4 – прутки; 5 – зуб со стойкой; 6 – штифт; 7 – основание

Исходя из требуемой производительности погрузчика-смесителя 120...140 т/ч обоснован диаметр шнека $D = 0,8$ м. Ширина захвата определена из условий

работы в теплицах, ширины бурта и теплицы и составила $B = 1,8$ м. Величина угла наклона винтовой поверхности шнека принята 40° .

Взаимодействие рабочего органа с компонентами почвенной смеси начинается с внедрения режущей кромки зубьев (рисунок 3).

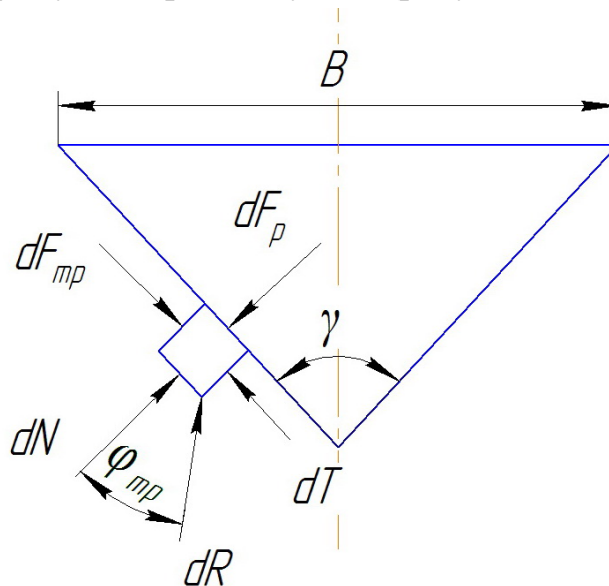


Рисунок 3 – Схема сил при внедрении зуба рабочего органа в почву

Усилие на зубе F_3 , Н:

$$F_3 = R_p \sin(\varphi_{\text{тр}} + \frac{\gamma}{2}) = \sigma_p b B \sin(\varphi_{\text{тр}} + \frac{\gamma}{2}), \quad (1)$$

где R_p – реакция; $\varphi_{\text{тр}}$ – угол трения почвенного компонента по стали; γ – угол при вершине зуба; σ_p – напряжение резания; b – толщина режущей кромки, мм; B – ширина зуба, мм.

Суммарное усилие ΣF_3 , Н, резания всеми зубьями в момент времени t :

$$\Sigma F_3 = z_t \sigma_p b B \sin(\varphi_{\text{тр}} + \frac{\gamma}{2}), \quad (2)$$

где z_t – число зубьев в массиве груза в момент времени t .

Качество смешивания зависит от степени крошения компонентов почвы. При высокой степени крошения компоненты при движении взаимно проникают и смешиваются между собой. Влияние параметров зуба на качество смешивания связано с траекторией движения частиц по поверхности зуба после отделения. Траектория в свою очередь определяется формой зубьев. Исследовали плоскую форму зубьев с углом к радиусу 90° . В этом случае отделяемый материал скользит по поверхности зуба. При плоской форме зуба с углом наклона менее 90° траектория движения имеет вид ломаной линии. Наилучшее крошение достигается при криволинейной форме зубьев. В этом случае площадь взаимодействия зуба с отделяемым компонентом значительно больше, соответственно больше усилие, передаваемое на материал. При движении материала по

криволинейной поверхности происходит постоянное воздействие зуба, что обуславливает высокую степень крошения и смешивания.

Суммарная сила F_{Σ} , действующая со стороны зуба при внедрении в массив:

$$F_{\Sigma} = F_{\kappa} + F_{\text{тр}} + F_3 = \sigma_p B b + k_f g m f + \sigma_{\text{сж}} A_3, \quad (3)$$

где F_{κ} – усилие на режущей кромке зуба, Н; $F_{\text{тр}}$ – сила трения по поверхности зуба, Н; k_f – коэффициент, учитывающий влияние положения зуба; g – ускорение свободного падения; m – масса отделяемого компонента смеси, кг; f – коэффициент трения почвенного компонента по стали; $\sigma_{\text{сж}}$ – напряжение сжатия при разрушении отделяемого компонента почвенной смеси, Па; A_3 – площадь поверхности зуба, м².

В результате анализа напряженного состояния и деформации отделяемой стружки установлены значения: радиуса кривизны зуба R_3 , которое составило 0,2 радиуса рабочего органа; угла при вершине зуба $\gamma = 110^\circ$; угла заточки $\alpha = 60^\circ$.

Производительность Q погрузчика-смесителя определили как массу m (кг) почвенной смеси, отгруженной в единицу времени t (с):

$$Q = m/t. \quad (4)$$

Масса почвенной смеси m может быть определена исходя из плотности и объема отделенных компонентов. Если в смеси n компонентов, то ее масса:

$$m = (\rho_1 V_1 + \rho_2 V_2 + \dots + \rho_n V_n), \quad (5)$$

где V_1, V_2, \dots, V_n – отделяемый объем 1-го, 2-го ... n -го компонента, м³:

$$V = B_3 A_0;$$

(6)

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

В процессе работы рабочий орган совершает вращательное движение вокруг своей оси и поступательное движение вместе с погрузчиком. В результате суммы этих движений каждая точка описывает циклоидальную кривую в двухмерной системе координат. Ось X проходит через ось рабочего органа погрузчика горизонтально в направлении его движения (рисунок 4). Угол вращения для удобства расчетов отсчитывается от оси Y по часовой стрелке. При таком выборе системы координат траектория перемещения зуба рабочего органа погрузчика может быть описана системой параметрических уравнений:

$$\begin{cases} x = R \sin \omega t + vt; \\ y = R(1 + \cos \omega t), \end{cases} \quad (7)$$

где v – скорость движения погрузчика, м/с; ω – угловая скорость вращения рабочего органа погрузчика, рад/с; R – радиус рабочего органа по режущим зубьям, м.

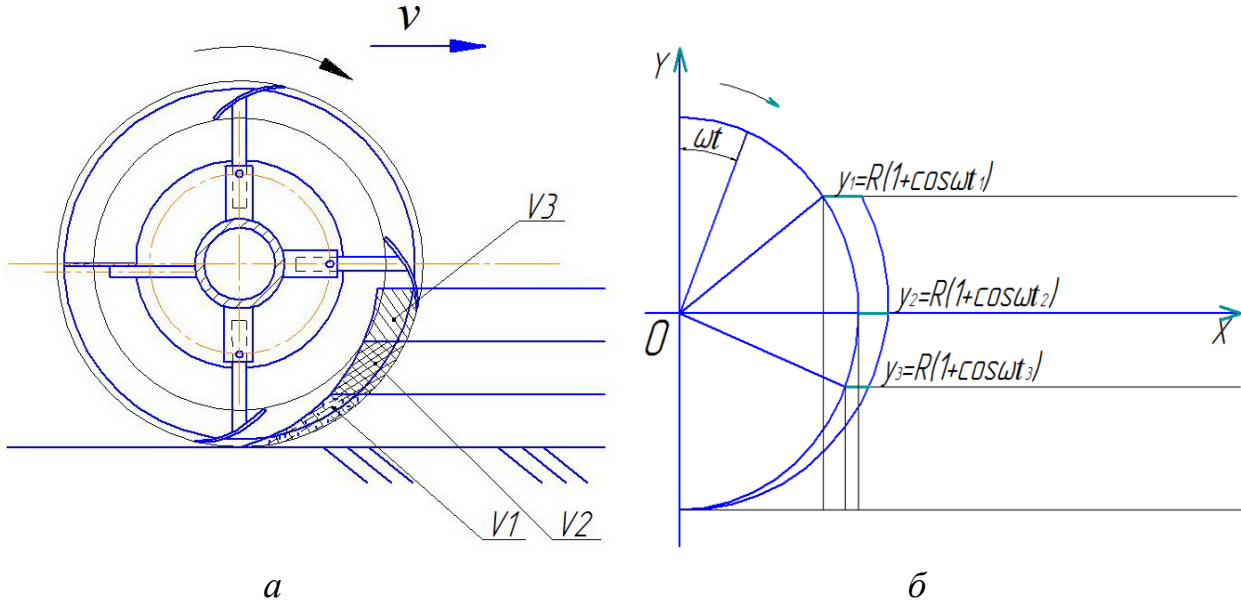


Рисунок 4 – Схемы взаимодействия рабочего органа с компонентами почвы:
а – технологическая; б – кинематическая

Площадь A_i поперечного сечения среза i -го слоя вычисляется по формуле:

$$A_i = S_i - S_{Pi}, \quad (8)$$

где S_i – величина определенного интеграла для фигуры, образуемой дугой – траекторией движения i -го зуба; S_{Pi} – величина определенного интеграла для дуги – траектории второго зуба, отстоящего от i -го на $\pi/4$.

Определенный интеграл для S_i имеет вид:

$$\begin{aligned} S_i = & \int_{t_i}^{t_{i+1}} x(t) \frac{dy}{dt} dt = \int_{t_i}^{t_{i+1}} (R \sin \omega t + vt)(-R\omega \sin \omega t) dt = \\ & - \int_{t_i}^{t_{i+1}} R^2 \omega \sin^2 \omega t dt - \int_{t_i}^{t_{i+1}} Rv\omega t \sin \omega t dt. \end{aligned} \quad (9)$$

Проинтегрируем выражение (9), получим площадь i -й фигуры:

$$S_i = \left[-\frac{R^2 \omega}{2} t + \frac{R^2}{4} \sin 2\omega t + Rvt \cos \omega t - \frac{Rv}{\omega} \sin \omega t \right]_{t_i}^{t_{i+1}} \quad (10)$$

Находя значения тригонометрических функций в моменты времени, когда зуб погрузчика достигает точек соответствующих верхним слоям, и подставляя их в формулу (10), получим:

$$S_i = \left[\left(\frac{v(y_{i+1} - R)}{\omega} - \frac{R^2}{2} \right) \arccos \left(\frac{y_{i+1} - R}{R} \right) + \left(\frac{y_{i+1} - R}{2} - \frac{v}{\omega} \right) \sqrt{2y_{i+1}R - y_{i+1}^2} \right] - \left[\left(\frac{v(y_i - R)}{\omega} - \frac{R^2}{2} \right) \arccos \left(\frac{y_i - R}{R} \right) + \left(\frac{y_i - R}{2} - \frac{v}{\omega} \right) \sqrt{2y_iR - y_i^2} \right]. \quad (11)$$

Траекторию перемещения следующего зуба, отстоящего от предыдущего на величину дуги, равную $\pi/4$, можно описать уравнениями:

$$\begin{cases} x_P(t) = R \sin(\omega t) + v \left(t + \frac{\pi/2}{\omega} \right); \\ y_P = R(1 + \cos \omega t); \end{cases} \quad (12)$$

$$S_{Pi} = \int_{t_i}^{t_{i+1}} x_P(t) \frac{dy}{dt} dt = \int_{t_i}^{t_{i+1}} \left(R \sin \omega t + v \left(t + \frac{\pi}{2\omega} \right) \right) (-R\omega \sin \omega t) dt = \left[\left(\frac{v(y_{i+1} - R)}{\omega} - \frac{R^2}{2} \right) \arccos \left(\frac{y_{i+1} - R}{R} \right) + \left(\frac{y_{i+1} - R}{2} - \frac{v}{\omega} \right) \sqrt{2y_{i+1}R - y_i^2} + \frac{v\pi}{2\omega} (y_{i+1} - R) \right] - \left[\left(\frac{v(y_i - R)}{\omega} - \frac{R^2}{2} \right) \arccos \left(\frac{y_i - R}{R} \right) + \left(\frac{y_i - R}{2} - \frac{v}{\omega} \right) \sqrt{2y_iR - y_{i-1}^2} + \frac{v\pi}{2\omega} (y_i - R) \right] \quad (13)$$

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

$$A_i = S_i - S_{Pi} = \frac{v\pi(y_{i+1} - y_i)}{2\omega}. \quad (14)$$

Тогда с учетом выражения (14) объем отделяемого послойно уложенного компонента почвы:

$$V = B_3 \frac{V\pi(y_{i+1} - y_i)}{2\omega}. \quad (15)$$

Выражение (5) для определения массы почвенной смеси, состоящей из n компонентов, примет вид:

$$m = (\rho_1 V_1 + \rho_2 V_2 + \dots + \rho_n V_n) = \rho_1 B_3 \frac{v\pi(y_2 - y_1)}{2\omega} + \rho_2 B_3 \frac{v\pi(y_3 - y_2)}{2\omega} + \dots + \rho_n B_3 \frac{v\pi(y_{n+1} - y_n)}{2\omega}. \quad (16)$$

Производительность погрузчика для смеси, состоящей из n компонентов при количестве зубьев z , одновременно выполняющих отделение и с учетом коэффициента их влияния K_z :

$$Q_n = (\rho_1 V_1 + \rho_2 V_2 + \dots + \rho_n V_n) / t = (\rho_1 B_3 \frac{v\pi(y_2 - y_1)}{2\omega} + \rho_2 B_3 \frac{v\pi(y_3 - y_2)}{2\omega} + \dots + \rho_n B_3 \frac{v\pi(y_{n+1} - y_n)}{2\omega}) z K_z / t, \quad (17)$$

где t – время прохождения зуба через все n компонентов почвенной смеси.

В третьей главе «Программа и методика экспериментальных исследований» изложены программа и методика исследований и производственных испытаний, дано описание объектов исследований и экспериментального образца предлагаемого погрузчика-смесителя (рисунок 5).



Рисунок 5 – Общий вид погрузчика-смесителя почвы для теплиц

В ходе исследований установлены физико-механические свойства компонентов и получаемых почвенных смесей: влажность, плотность, коэффициент трения, сопротивление деформациям (сжатию и сдвигу). Кроме физико-механических большое значение имеют технологические свойства, определяющие качество приготовленных смесей. Основные из них – качество смешивания компонентов, характеризуемое коэффициентом качества смешивания K ; влагоемкость, воздухоемкость. Коэффициент качества смешивания K показывает количественное содержание «ключевого компонента» в различных точках готовой почвенной смеси по отношению к его возможному содержанию при теоретическом распределении.

В соответствии с задачами, поставленными в работе и теоретическими разработками, программа исследований включала в себя серию двух- и однофакторных экспериментов. В ходе двухфакторного эксперимента изучали влияние

на критерии оптимизации конструктивных и режимных параметров: частоты вращения шнекового рабочего органа и количества зубьев. В однофакторном эксперименте исследовали влияние формы зубьев. Были изучены три формы зубьев: плоская с углом наклона к оси стойки (радиусу рабочего органа) 90° ; плоская с углом наклона 70° ; криволинейная в виде сектора цилиндрической поверхности с радиусом кривизны, равным $0,2$ радиуса рабочего органа. Форму зубьев задавали их сменой в основаниях рабочего органа.

В четвертой главе «Результаты экспериментальных исследований» представлены результаты исследований физико-механических свойств компонентов и почвенных смесей, приготовленных с помощью предлагаемого погрузчика-смесителя: торфа, навоза, минеральных удобрений, чернозема, песка, опилок; приведены результаты экспериментальных исследований.

Большое влияние на производительность и качество смешивания оказывают конструктивные параметры и форма режущих зубьев. Результаты исследований формы зубьев представлены в виде диаграмм на рисунках 6 и 7.

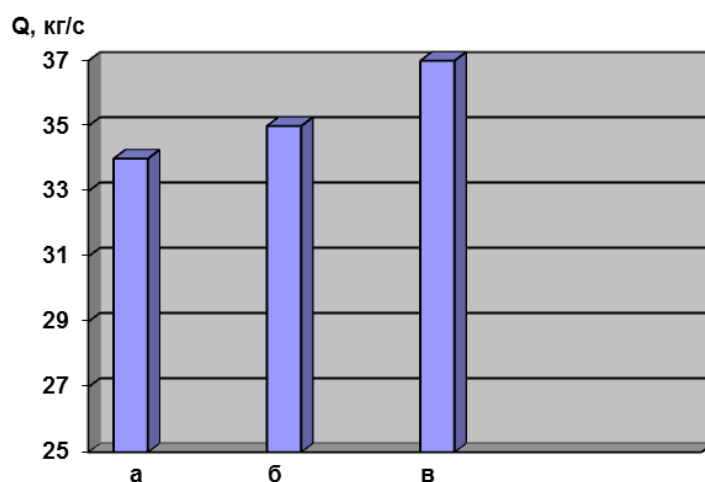


Рисунок 6 – Производительность погрузчика-смесителя с различной формой зубьев рабочего органа: *а* – плоская с углом наклона к оси стойки (радиусу рабочего органа) 90° ; *б* – криволинейная в виде сектора цилиндрической поверхности; *в* – плоская с углом наклона к оси стойки 70°

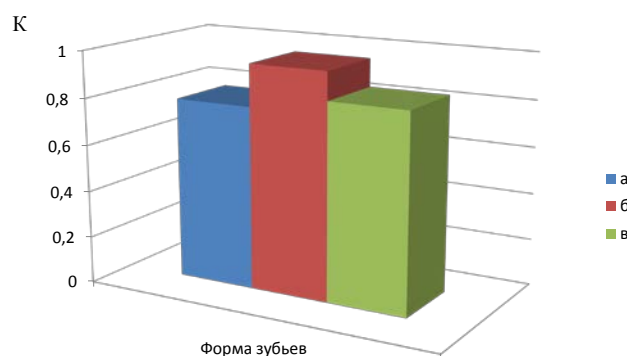


Рисунок 7 – Коэффициент степени смешивания для различной формы зубьев

На диаграмме 6 отражена производительность погрузчика-смесителя при различной форме зубьев. Производительность погрузчика с зубьями плоской формы (см. рис. 6, *a*) несколько больше, чем при оснащении его зубьями другой формы (см. рис. 6, *б*, *в*), поскольку плоская форма зубьев обеспечивает меньший рабочий зазор между наружной кромкой шнека и кожухом. Однако наибольшая степень смешивания компонентов почвы достигается при криволинейной форме зубьев в виде сектора цилиндрической поверхности. Такая форма наряду с отделением частей компонентов от массива обеспечивает их крошение и смешивание до вступления в работу винтовой поверхности шнеков. Величина коэффициента смешивания компонентов смеси составила 0,96–0,98, что соответствует агротехническим требованиям (0,9–0,95).

Экспериментальные исследования позволили установить влияние наиболее значимых факторов: частоты вращения рабочего органа n и количества зубьев z на нем на производительность погрузчика-смесителя, коэффициент смешивания, влагоемкость и воздухоемкость почвенной смеси.

Уравнение регрессии в раскодированном виде, описывающее характер изменения производительности при изменении указанных параметров имеет вид:

$$Q = 0,303363A - 0,00057287A^2 + 0,25694B - 0,0087963B^2 - 4,59939. \quad (18)$$

Графически данная зависимость представлена на рисунке 8.

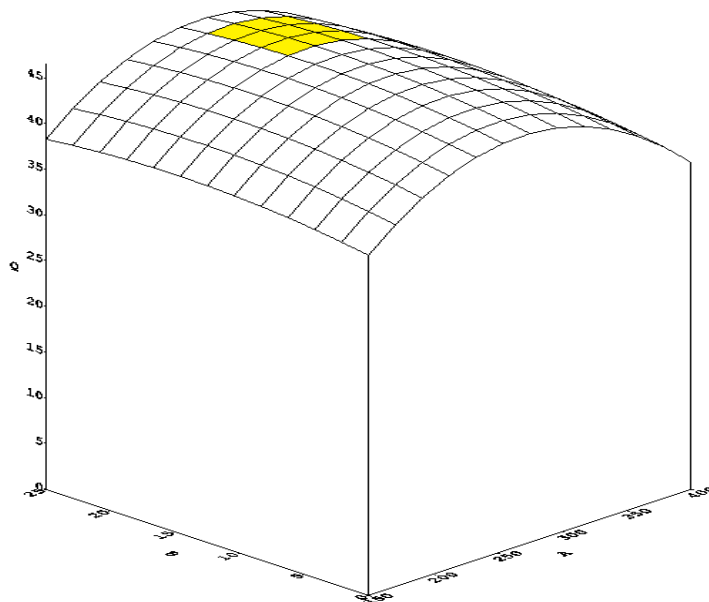


Рисунок 8 – Зависимость производительности смесителя-погрузчика от частоты вращения шнековой фрезы n , мин^{-1} (фактор A) и количества зубьев z (фактор B) при скорости подачи 0,05 м/с

Полученное уравнение (18) и соответствующая ему трехмерная поверхность показывают наличие экстремума по обоим исследуемым факторам. С ростом частоты вращения производительность сначала увеличивается. Затем при частоте вращения $290...310 \text{ мин}^{-1}$ достигает максимума, а при увеличении частоты вращения более 310 мин^{-1} начинает снижаться. Зависимость производительности от количества зубьев также имеет нелинейный характер.

Зубья способствуют отделению и захвату частей смешиваемых компонентов, поэтому максимальная производительность наблюдается при наибольшем количестве зубьев, работающих без перекрытия. Для данного рабочего органа с шириной захвата $1,8 \text{ м}$ оптимальное количество зубьев $z = 22..24$. Производительность при этом составила $39,2 \text{ кг/с}$.

Также в результате проведенных экспериментальных исследований и обработки опытных данных получена зависимость коэффициента степени смешивания от частоты вращения и количества зубьев, которая описывается уравнением регрессии:

$$K = 0,005398A - 1,03322E - 05A^2 + 0,010753268B - 0,0002269B^2 + 0,152166097. \quad (19)$$

Зависимость (19) в графическом виде представлена на рисунке 9.

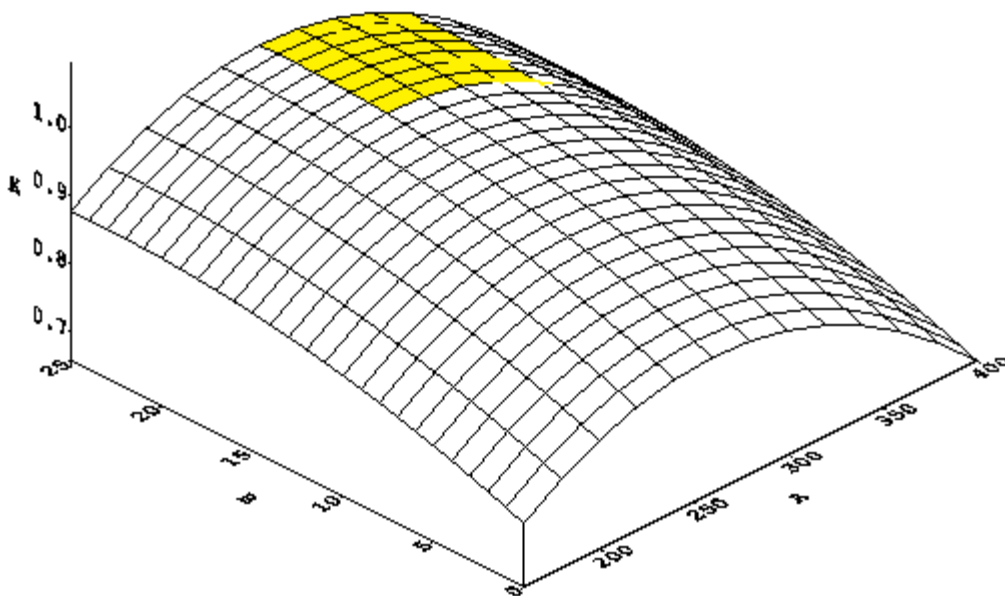


Рисунок 9 – Зависимость коэффициента смешивания K от факторов A и B при скорости подачи $0,05 \text{ м/с}$

Наилучшее качество смешивания обеспечивается при максимальном количестве зубьев, работающих без перекрытия зон резания. При дальнейшем увеличении количества зубьев оно почти не меняется. Без оснащения рабочего ор-

гана зубьями при частоте вращения 219 мин^{-1} $K = 0,851$; при $z = 24$ и той же частоте вращения – $K = 0,954$.

Для предлагаемого шнека максимальное количество зубьев $z_{\max} = 24$. Объясняется это тем, что зубья при работе выполняют основную функцию отделения и измельчения компонентов. Хорошо измельченные компоненты лучше перемешиваются зубьями и шнеком. Аналогично изменяется качество смешивания при изменении частоты вращения. При увеличении частоты вращения шнека коэффициент качества смешивания сначала растет, достигает максимального значения при $n = 280 \dots 300 \text{ мин}^{-1}$, а затем начинает снижаться. Рост степени смешивания при увеличении частоты вращения с 150 до 260 мин^{-1} объясняется улучшением отделения и измельчения компонентов почвы. Однако при большой частоте вращения (более 320 мин^{-1}) процесс смешивания нарушается, коэффициент степени смешивания уменьшается.

В результате экспериментальных исследований получены зависимости влагоемкости и воздухоемкости почвенной смеси от частоты вращения количества зубьев. При частоте вращения рабочего органа и количестве зубьев, соответствующих максимальной производительности и наилучшему качеству смешивания, значения этих показателей также соответствуют требованиям, предъявляемым к почвенным смесям для теплиц (воздухоемкость – 25% , влагоемкость – 40%).

Проведена оценка сходимости теоретических и полученных экспериментальных зависимостей (рис. 10). Расхождения не превышают 5% .

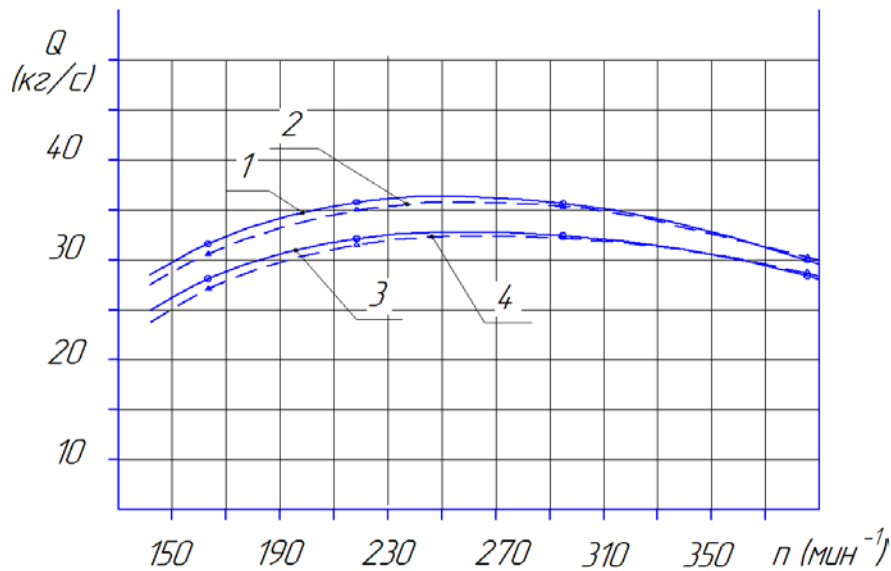


Рисунок 10 – Сходимость теоретической и экспериментальной зависимостей производительности от частоты вращения шнекового рабочего органа при числе зубьев $z = 24$ (графики 1 и 2) и $z = 9$ (графики 3 и 4)

В пятой главе «Технико-экономическая эффективность» представлена оценка экономической эффективности использования погрузчика-смесителя

почвы для теплиц, оснащенного шнековым рабочим органом, по сравнению с погрузчиком непрерывного действия ПНД-250 с учетом необходимости доведения почвенной смеси до соответствия агротехническим требованиям.

Годовой экономический эффект за счет увеличения производительности труда составил 78,624 тыс. руб. в ценах на 01.09.2013.

ОБЩИЕ ВЫВОДЫ

1. На основании анализа существующих погрузчиков-смесителей и технологических схем их использования разработана конструктивно-технологическая схема погрузчика-смесителя, теоретическими и экспериментальными исследованиями обоснованы конструктивно-режимные параметры его рабочего органа, благодаря чему решена важная научная и практическая задача достижения повышения производительности труда при приготовлении почвенной смеси для теплиц и ее качественных показателей.

2. Предложена конструктивно-технологическая схема погрузчика-смесителя (патент на полезную модель № 119337) для приготовления почвенных смесей со шнековым рабочим органом (патент на полезную модель № 117906), оснащенный зубьями с режущими поверхностями специальной формы. Процессы погрузки и смешивания совмещаются, шнекофрезерный рабочий орган обеспечивает отделение частей компонентов от основного массива, их крошение и последующее перемешивание.

3. В результате теоретических исследований получены аналитические выражения и установлено влияние конструктивных и режимных параметров на показатели эффективности технологического процесса и производительность смешивания и погрузки. Для обеспечения требуемого качества смешивания шнековый рабочий орган должен быть оснащен зубьями криволинейной формы, установленными по ширине захвата без перекрытия, угол при вершине $\gamma = 110^\circ$, угол заточки $\alpha = 60^\circ$, радиус кривизны R_z составляет 0,2 радиуса рабочего органа.

4. Получены экспериментальные зависимости и описывающие их вероятностно-статистические модели производительности, качества смешивания и технологических параметров почвенной смеси от конструктивных и режимных параметров для компонентов с различными физико-механическими свойствами. Установлено, что зависимость производительности от частоты вращения рабочего органа и от количества зубьев носит нелинейный характер, описываемый уравнением регрессии второго порядка. Наибольшая производительность достигается при частоте вращения $n = 294 \text{ мин}^{-1}$ и числе зубьев $z = 24$, что соответствует их сплошной установке по ширине захвата без перекрытия. Экспери-

ментально подтверждена наиболее эффективная для процесса смешивания форма зубьев в виде сектора цилиндрической поверхности.

5. При частоте вращения рабочего органа и количестве зубьев, обеспечивающих максимальную производительность и высокое качество смешивания, воздухоемкость и влагоемкость смеси также соответствуют требованиям, предъявляемым к почвенным смесям для теплиц. Коэффициент качества смешивания составил 0,96–0,98; воздухоемкость – 25 %; влагоемкость – 40 %. Для шнекового рабочего органа диаметром 0,8 м погрузчика-смесителя почвы для теплиц рекомендуются следующие параметры: частота вращения $n = 290 \dots 300$ мин⁻¹, количество зубьев $z = 24$. Они способствуют эффективному отделению компонентов без перекрытия зон резания.

6. Годовой экономический эффект при использовании погрузчика-смесителя при подготовке почвенной смеси для теплиц составляет 78,624 тыс. руб. в ценах на 01.09.2013, срок окупаемости дополнительных капиталовложений – 1,9 года.

СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Публикации в журналах, рекомендованных ВАК РФ

1. Павлов, П.И. Результаты исследований погрузчика-смесителя почвы для теплиц [Текст] / П.И. Павлов, Г.В. Левченко, **А.О. Везиров** // Вестник Саратовского госагроуниверситета им. Н.И. Вавилова. – 2013. – № 8. – С. 62–64.

2. **Везиров, А.О.** Экспериментальное исследование рабочих органов погрузчика-смесителя почвы для теплиц [Текст] / А.О. Везиров // Научное обозрение. – 2013. – № 8. – С. 24–27.

3. Павлов, П.И. Погрузчик-смеситель почвы для теплиц [Текст] / П.И. Павлов, С.Л. Медведев, **А.О. Везиров** // Сельский механизатор. – 2013. – № 9. – С. 40.

Публикации в других изданиях

4. Левченко, Г.В. Физико-механические свойства насыпных грунтов, используемых в тепличном овощеводстве [Текст] / Г.В. Левченко, **А.О. Везиров** // Матер. Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 70-летию со дня рожд. проф. В.Ф. Дубинина. – Саратов, 2010. – С.111–113.

5. Левченко, Г.В. Классификация погрузчиков-смесителей [Текст] / Г.В. Левченко, **А.О. Везиров** // Матер. Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 70-летию со дня рожд. проф. В.Ф. Дубинина. – Саратов, 2010. – С. 113–116.

6. Павлов, П.И. Погрузчик-смеситель для тепличного субстрата [Текст] / 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.

7. Павлов, П.И. Погрузчик-смеситель для тепличного субстрата [Текст] / 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.

8. Левченко, Г.В. Физические свойства тепличных субстратов [Текст] / Г.В. Левченко, **А.О. Везиров** // Проблемы экономичности и эксплуатации автотракторной техники: матер. Междунар. науч.-техн. семинара им. В.В. Михайлова. – Саратов, 2012. – С. 147–149.

9. Павлов, П.И. Погрузчик-смеситель для тепличного овощеводства [Текст] / 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.

10. 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.

11. 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.

Подписано в печать 25.11.13	Формат 60×84 1/16
Печ. л. 1,0	Тираж 100
	Заказ 286/273

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Саратовский государственный аграрный университет им. Н.И. Вавилова»
410012, Саратов, Театральная пл., 1