

На правах рукописи

Дзюбан Иван Леонидович

**ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИГОТОВЛЕНИЯ
ОРГАНОМИНЕРАЛЬНОГО КОМПОСТА ПУТЕМ ОБОСНОВАНИЯ
ПАРАМЕТРОВ РАБОЧИХ ОРГАНОВ ПОГРУЗЧИКА-СМЕСИТЕЛЯ**

Специальность 05.20.01 – Технологии и средства
механизации сельского хозяйства

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Саратов 2015

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

Научный руководитель: доктор технических наук, профессор
Павлов Павел Иванович

Официальные оппоненты: **Коновалов Владимир Викторович,**
доктор технических наук, профессор
ФГБОУ ВО «Пензенский государственный
технологический университет», профессор
кафедры «Технология машиностроения»

Куденко Вячеслав Борисович,
кандидат технических наук, доцент,
доцент кафедры «Технологические процессы
и техносферная безопасность» ФГБОУ ВО
«Мичуринский государственный аграрный
университет»

Ведущая организация: **ФГБОУ ВО «Пензенская государственная
сельскохозяйственная академия»**

Защита диссертации состоится 25 декабря 2015 г. в 12.00 на заседании совета по защите докторских и кандидатских диссертаций Д 220.061.03 на базе Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Саратовский государственный аграрный университет имени Н.И. Вавилова» по адресу: 410056, г. Саратов, ул. Советская д. 60, ауд. 325 им. А.В. Дружкина.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВО «Саратовский государственный аграрный университет имени Н.И. Вавилова» 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 « » _____ 2015 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета

Василий Васильевич Чекмарев

Общая характеристика работы

Актуальность темы. Восстановление плодородия почв, используемых в сельскохозяйственном производстве – важнейшая задача в современных условиях. Один из наиболее эффективных способов ее реализации – внесение органических удобрений. Однако для наиболее полного восстановления требуется вносить большие объемы, что приводит к росту затрат трудовых и материальных ресурсов. На 1 тыс. га необходимо внести 20–30 тыс. т навоза с соответствующими затратами на погрузку, транспортирование и внесение. Вследствие высоких затрат навоз не вносят в необходимых количествах, и плодородие сельскохозяйственных угодий в настоящее время продолжает снижаться. Среднегодовое падение содержания гумуса в пахотном слое за последние годы в Саратовской области составляет до 0,2 т/га.

Одним из направлений снижения затрат на восстановление плодородия почвы является компостирование. За счет смешивания органических удобрений с минеральными получается масса, насыщенная питательными веществами, называемая органоминеральным компостом. При этом не только уменьшается необходимый для внесения объем, но и повышается его эффективность.

Наиболее широко применяется площадочный способ компостирования, однако он включает в себя не менее 14–20 операций. Основные недостатки данного вида компостирования – большая энергоемкость и неточное распределение минеральных удобрений. При неточном распределении минеральных удобрений качество компоста существенно снижается.

В настоящее время специальных машин для компостирования серийно не выпускается. Существующие машины не обеспечивают необходимого качества смешивания, что снижает качество компоста и эффективность его применения. Большое количество операций приводит к росту затрат. Разработка погрузчика-смесителя позволяет совместить операции погрузки и смешивания органических и минеральных удобрений, повысить производительность и снизить затраты на производство компоста.

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.

Степень разработанности темы. Проведено теоретическое и экспериментальное обоснование параметров рабочего органа погрузчика-смесителя, позволяющие повысить производительность и качество смешивания органоминерального компоста. Предложена модель процесса смешивания компонентов органоминерального компоста. Разработан и прошел производственную проверку опытный образец погрузчика-смесителя органоминерального компоста с шнековым рабочим органом и бункером-дозатором минеральных удобрений.

Цель работы: повышение эффективности технологического процесса приготовления органоминерального компоста путем обоснования параметров и режимов рабочих органов погрузчика-смесителя.

Задачи исследований:

- на основе анализа существующих результатов исследований разработать классификацию погрузчиков-смесителей органических удобрений и компостов, выявить основные направления их совершенствования и обосновать перспективную конструктивно-технологическую схему погрузчика-смесителя;
- исследовать теоретически процесс смешивания и погрузки органоминерального компоста погрузчиком-смесителем и получить аналитические выражения по определению его производительности и мощности;
- получить математическую модель процесса смешивания с целью определения его качества смешивания при различных режимах работы;
- экспериментальными исследованиями получить графические зависимости и уравнения регрессии, описывающие влияние конструктивных и режимных параметров на производительность и качество смешивания органоминерального компоста, определить оптимальные технологические режимы и конструктивные параметры рабочих органов;

- обосновать экономическую целесообразность предлагаемой технологии производства органоминерального компоста с применением погрузчика-смесителя и на основе анализа результатов производственных испытаний разработать рекомендации к внедрению в производство.

Научная новизна работы заключается в разработке классификации погрузчиков органических удобрений и погрузчиков-смесителей компоста; обосновании конструктивно-технологической схемы погрузчика-смесителя, оснащенного бункером-дозатором минеральных удобрений; получении теоретических и экспериментальных зависимостей для обоснования конструктивно-режимных параметров и разработке модели процесса смешивания компонентов органоминерального компоста.

Теоретическая и практическая значимость работы состоит в получении аналитических выражений для определения производительности и мощности привода рабочего органа погрузчика-смесителя. Получена модель, описывающая процесс смешивания компонентов органоминерального компоста и его качество. Обоснованы конструктивные и режимные параметры погрузчика-смесителя с бункером-дозатором. Опытный образец погрузчика-смесителя внедрен в ООО «Степное» Калининского района Саратовской области. Полученные результаты могут быть использованы проектными и конструкторскими организациями при определении параметров погрузчика-смесителя для различных условий на стадии проектирования.

Методология и методы исследования. Методологическую основу исследования составляли методы системного анализа и математической статистики. Теоретическое описание работы погрузчика-смесителя выполняли на основе математического анализа и классической механики. Построение модели процесса смешивания осуществляли с использованием теории «клеточного массообмена». Экспериментальные исследования проводили с использованием существующих и разработанных на их основе методик. Обработку результатов экспериментов осуществляли на ПЭВМ с использованием программ Math Cad и Excel.

Научные положения, выносимые на защиту:

- теоретические зависимости для определения производительности и мощности привода погрузчика-смесителя с бункером-дозатором;
- модель, описывающая процесс смешивания компонентов органоминерального компоста в шнеке и его качество;
- экспериментальные графические зависимости и уравнения регрессии, описывающие влияние основных конструктивных и режимных параметров погрузчика-смесителя на производительность погрузки и качество смешивания органоминерального компоста;
- результаты теоретического и экспериментального обоснования конструктивных и режимных параметров.

Степень достоверности и апробация результатов обеспечена достаточной сходимостью результатов теоретических и экспериментальных исследований. Основные положения работы заслушивались на конференциях профессорско-преподавательского состава по итогам научно-исследовательской работы за 2011–2014 гг. ФГБОУ ВПО Саратовского государственного аграрного университета имени Н.И.Вавилова; III Международной научно-практической конференции «Проблемы и перспективы инновационного развития мирового сельского хозяйства» (Саратов, 2012); Международном научно-техническом семинаре им. В.В. Михайлова «Проблемы экономичности и эксплуатации автотракторной техники» (Саратов, 2015); проект «Погрузчик-смеситель тепличного субстрата» был представлен в 2013 г. на 8-м Саратовском салоне изобретений, инноваций и инвестиций (Саратов, 2013) и награжден бронзовой медалью и дипломом третьей степени; на Российской агропромышленной выставке «Золотая осень» (Москва, ВВЦ, 2013) была получена бронзовая медаль «За разработку оборудования и технологии для приготовления органоминерального компоста».

По результатам выполненной работы опубликованы 9 работ, в том числе 3 статьи в рецензируемых научных изданиях, 2 патента РФ на полезную модель. Объем публикаций составил 1,2 печ. л., из которых 0,8 печ. л. принадлежат лично соискателю.

Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения, списка литературы и приложений. Общий объем составляет 170 страниц машинописного текста, в том числе 7 приложений. Основной текст изложен на 139 страницах, содержит 7 таблиц и 65 рисунков. Список литературы включает в себя 129 наименований.

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, патентных фондов и производственного опыта установлено, что в зависимости от климатических условий, вида хозяйства и вида обрабатываемой почвы существует несколько основных способов приготовления компостов – послойный, очаговый и площадочный. Наиболее широко применяется площадочный способ приготовления, позволяющий получать высококачественный компост, так как в него добавляют минеральные удобрения, вследствие чего образуется органоминеральная смесь. Данный способ компостирования включает в себя не менее 14–20 операций. Его основные недостатки – значительные материальные затраты из-за большого количества операций и неточное дозирование минеральных удобрений. При неточном распределении минеральных удобрений возможно нарушение процесса перепревания навоза. Качество компоста с применением минеральных удобрений в большой мере зависит от степени перемешивания.

Недостатком существующих технологий приготовления компостов является низкое качество смеси, что снижает эффективность удобрений, поэтому более перспективными являются технологии, обеспечивающие тщательное смешивание компонентов.

Анализ существующих конструкций машин и их классификаций, используемых для приготовления органоминерального компоста, показывает, что специальных погрузчиков-смесителей для работы с совмещением операций недостаточно исследовалось. Стационарные смесители могут работать только в условиях технологических линий, имеют небольшую производительность и тре-

бовательны к компонентам, из которых готовится компост. В производстве органоминерального компоста погрузчики-смесители имеют существенные преимущества, поэтому проведение исследований, позволяющих обосновать их параметры, является актуальным.

Значительное количество работ посвящено изучению процессов смешивания различных 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, П.И. Павлова, А.О. Везирова, И.П. Новикова, С.В. Петунова, Е.Е. Демина, Г.В. Левченко, Р.Р. Хакимзянова и др.

Несмотря на имеющиеся исследования, физические процессы, происходящие при смешивании компонентов, рассмотрены недостаточно, что не позволяет применять их для обоснования параметров рабочих органов погрузчиков-смесителей, совмещающих операции смешивания и погрузки.

Во второй главе «Теоретическое исследование процесса смешивания компонентов органоминерального компоста погрузчиком-смесителем» на основании анализа научных и теоретических исследований разработан способ приготовления органоминерального компоста. Внесение минеральных удобрений осуществляют непосредственно перед погрузкой погрузчиком-смесителем (патент на полезную модель №119337), имеющим дозатор минеральных удобрений и позволяющим равномерно перемешивать минеральные удобрения внутри компоста во время погрузки (рисунок 1). Погрузчик-смеситель состоит из базовой машины 1, редуктора 6, закрепленного на раме 2 погрузчика-смесителя, ленточного шнека 5 с валом 4, приводящегося в движение от вала отбора мощности (ВОМ) 14 через цепь 15 муфту 8 и цепную передачу. В состав погрузчика-смесителя также входят отгрузочный транспортер 11 и бункер-дозатор 10 с выгрузными отверстиями и дозирующим валом 13. Благодаря кинематической связи вал 4 через цепь 12 и звездочку 9 вращает дозирующий вал 13.

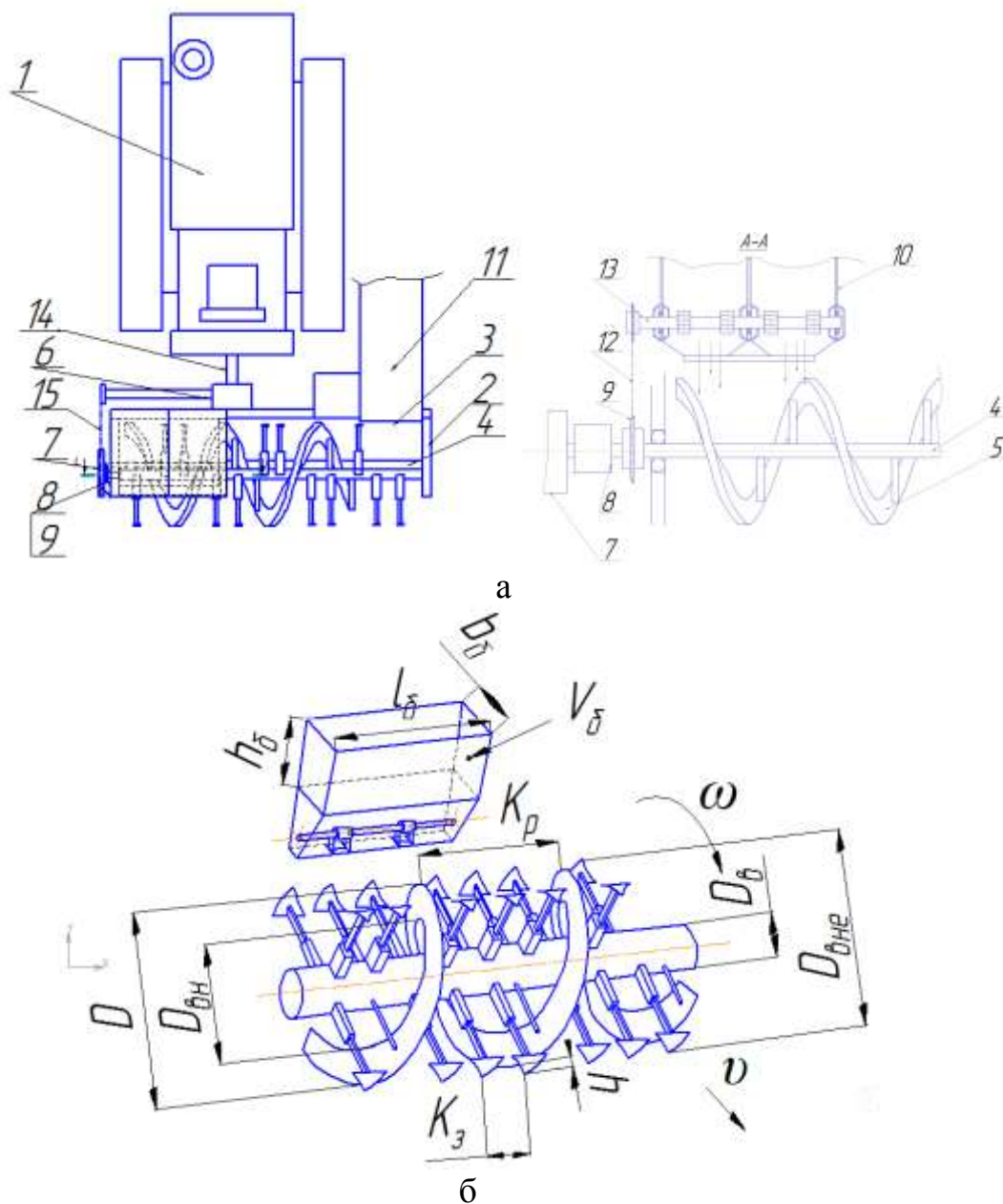


Рисунок 1 – Схема предлагаемого погрузчика-смесителя (а) органоминерального компоста и его рабочих органов (б): 1 – базовая машина; 2 – рама; 3 – отгрузное окно; 4 – вал; 5 – ленточный шнек; 6 – редуктор; 7 – цепь; 8 – муфта; 9 – звездочка; 10 – бункер-дозатор; 11 – отгрузочный транспортер; 12 – цепь; 13 – дозирующий вал; 14 – вал отбора мощности; 15 – цепь

Производительность, смешивания – масса компоста, состоящая из перемешанных с требуемой степенью компонентов и отгружаемых рабочим органом в единицу времени. Рабочий орган отгружает массу компонентов, которая подается в него за счет поступательного движения погрузчика-смесителя.

Производительность, кг/с, подачи за счет поступательного движения:

$$Q_{\text{п}} = \rho_{\text{к}} A_{\text{к}} v_{\text{п.с}}, \quad (1)$$

где $\rho_{\text{к}}$ – средняя плотность компоста, кг/м³; $A_{\text{к}}$ – площадь поперечного сечения бурта компоста, м²; $v_{\text{п.с}}$ – поступательная скорость погрузчика-смесителя, м/с.

Производительность отделения одним зубом (рисунок 2) определяют следующим образом:

$$Q_1 = V_{\text{ц}} \rho_{\text{к}} / t = A_{\text{ц}} B_3 \rho_{\text{к}} / t, \quad (2)$$

где $V_{\text{ц}}$ – объем криволинейного цилиндра, м³; t – время, за которое осуществляется отделение одним зубом, с; $A_{\text{ц}}$ – площадь проекции цилиндра, м².

Подставляя значение площади $A_{\text{ц}}$, получим:

$$Q_1 = \rho_{\text{к}} \left[D_{\text{п}}^2 \frac{\omega t}{4} - \frac{D_{\text{п}}^2}{16} \sin(2\omega t) + \frac{v_{\text{п.с}} D_{\text{п}}}{2\omega} \cos(\omega t) \right] B_3 / t, \quad (3)$$

где $D_{\text{п}}$ – диаметр рабочего органа по режущим кромкам зубьев (см. рисунок 1, б).

При высоте бурта, равной диаметру шнека, время отделения составит:

$$t = 1 / (2n_{\text{ш}}) = \pi / \omega, \quad (4)$$

где n – частота вращения шнека, рад/с; ω – угловая скорость шнека, рад/с.

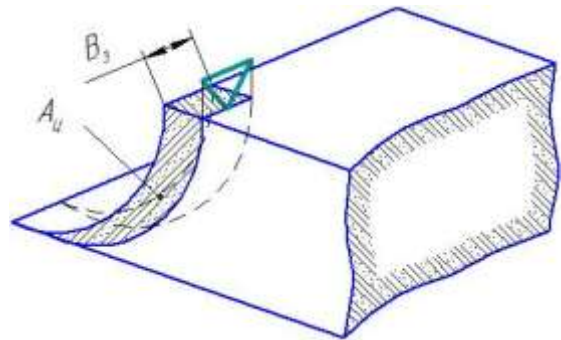


Рисунок 2 – Схема отделения одним зубом

При меньшей высоте бурта время отделения будет определяться величиной центрального угла ψ , рад, сторонами которого являются радиусы, проведенные через верхнюю и нижнюю точки бурта. Производительность отделения определяют с учетом количества зубьев z_t , одновременно участвующих в отделении компоста от бурта:

$$Q = z_t \rho_{\text{к}} \left[D_{\text{п}}^2 \frac{\omega t}{4} - \frac{D_{\text{п}}^2}{16} \sin(2\omega t) + \frac{v_{\text{п.с}} D_{\text{п}}}{2\omega} \cos(\omega t) \right] B_3 (\omega / \pi). \quad (5)$$

Общая производительность отделения должна быть больше или равна производительности подачи компоста:

$$\rho_{\text{к}} A_{\text{к}} v_{\text{п.с}} \leq z_t \rho_{\text{к}} \left[D_{\text{п}}^2 \frac{\omega t}{4} - \frac{D_{\text{п}}^2}{16} \sin(2\omega t) + \frac{v_{\text{п.с}} D_{\text{п}}}{2\omega} \cos(\omega t) \right] B_3 (\omega / \pi). \quad (6)$$

Анализ данного выражения показывает, что для обоснования режимных параметров необходимо определять соотношение объема компоста, поступающего за счет поступательной скорости погрузчика-смесителя, и объема, отделяемого зубьями рабочего органа.

$$A_k v_{п.с} \leq z_t \left[D_p^2 \frac{\omega t}{4} - \frac{D_p^2}{16} \sin(2\omega t) + \frac{v_{п.с} D_p}{2\omega} \cos(\omega t) \right] (B_3 / t). \quad (7)$$

Выражения (6) и (7) связывают между собой диаметр рабочего органа по отделяющим зубьям, поступательную скорость погрузчика и угловую скорость рабочего органа, что позволяет обосновать данные параметры. Решение уравнения относительно поступательной скорости имеет следующий вид:

$$v_{п.с} \leq \frac{z_t B_3 t \left(D_p^2 \frac{\omega t}{4} - \frac{D_p^2}{16} \sin(2\omega t) \right)}{A_k - \frac{D_p}{2\omega} \cos(\omega t) z_t B_3 t}. \quad (8)$$

Аналогично, преобразуя выражение (6), можно получить выражение для обоснования угловой скорости:

$$\frac{Q \psi}{z_t B_3 \rho_k} = D_p^2 \frac{\omega^2 t}{4} - \frac{D_p^2 \omega}{16} \sin(2\omega t) + \frac{v_{п.с} D_p}{2} \cos(\omega t), \quad (9)$$

где ψ – центральный угол по крайним точкам бурта компоста.

Производительность перемещения определяется из рассмотрения работы шнекового рабочего органа как винтового конвейера. В выражении необходимо учесть снижение пропускной способности от стоек зубьев.

$$Q = k_c \rho \frac{\pi (D^2 - D_{вн.г}^2)}{4} \cdot k_{п} \frac{pn}{60} = k_c \rho \frac{D^3}{8} k_p k_{п} \omega, \quad (10)$$

где k_c – коэффициент учитывающий сопротивление движению груза от стоек, на которых установлены зубья; $D_{вн.г}$ – внутренний диаметр поперечного сечения потока груза, м; $k_{п}$ – коэффициент скорости, характеризующий отставание груза от теоретической скорости движения винтовой поверхности; $k_{пр}$ – коэффициент производительности, равный произведению коэффициентов заполнения межвиткового пространства k_v , скорости $k_{п}$, $k_{пр} = k_v k_{п}$.

Мощность, необходимая для привода рабочего органа, включает в себя мощность, затрачиваемую на фрезерование зубьями компонентов компоста $P_{\text{фр}}$, и мощность для транспортирования отделенных частей $P_{\text{тр}}$

$$P_{\text{р.о}} = P_{\text{фр}} + P_{\text{тр}}. \quad (11)$$

Мощность на фрезерование одним зубом будет равна произведению усилия на зубе $F_{\text{фр}}$ и окружной скорости зубьев v_z , которая будет являться скоростью фрезерования:

$$P_{\text{фр}} = F_{\text{фр}} v_z. \quad (12)$$

Приравниваем сопротивление на зубе к усилию на зубе. Усилие на зубе (рисунок 3):

$$F_{\text{фр}} = F_p + F_{\text{кр}} + F_{\text{и}}, \quad (13)$$

где F_p – усилие резания компоста.

$$F_p = \tau_p B_3 h \sin(\varphi_T + 0,5\gamma), \quad (14)$$

где τ_p – напряжение среза компонентов, МПа; φ_T – угол трения компонентов по металлу, град; γ – угол при вершине зуба, град.

$F_{\text{кр}}$ – усилие, необходимое для крошения компонентов компоста.

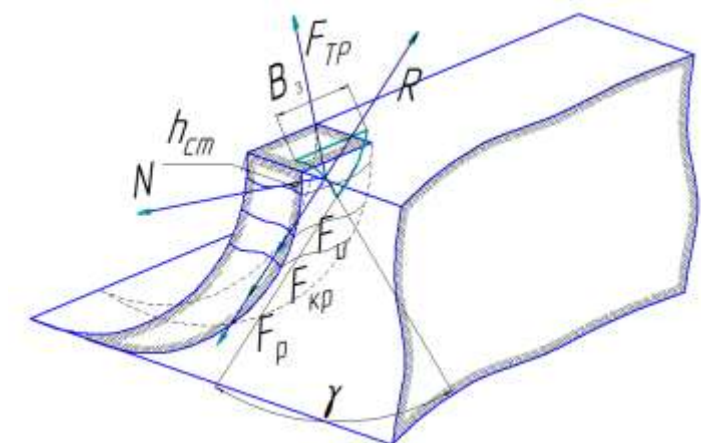


Рисунок 3 – Схема сил на зубе при отделении

$$F_{\text{кр}} = \sigma_p A_{\text{кр}} = \sigma_p B_3 h_{\text{ст}}, \quad (15)$$

где σ_p – напряжение разрыва стружки, МПа; $A_{\text{кр}}$ – площадь режущей кромки зуба, мм^2 ; $h_{\text{ст}}$ – высота стружки, мм.

Чем больше поступательная скорость $v_{\text{п.с}}$, м/с, погрузчика-смесителя, тем больше толщина стружки, и наоборот, чем больше частота вращения рабочего органа n , мин^{-1} , тем меньше толщина стружки.

$$h_{\text{ст}} = v_{\text{п.с}} / (nz_1), \quad (16)$$

где z_1 – количество зубьев, работающих в одной плоскости.

$$F_{\text{кр}} = \sigma_p A_{\text{кр}} = \sigma_p B_3 v_{\text{п.с}} / (nz_1). \quad (17)$$

$F_{и}$ – сила инерции. Отделенные частицы разгоняются от состояния покоя до скорости, равной окружной скорости зубьев v_t . В этом случае величина силы инерции будет определяться временем взаимодействия t . Выражая окружную скорость через угловую скорость и диаметр рабочего органа, получим:

$$F_{и} = m(0,5\omega D_p)/t. \quad (18)$$

С учетом количества зубьев z_0 , одновременно взаимодействующих с буртом компоста, и, подставляя выражение для окружной скорости зубьев, получим мощность для фрезерования:

$$P_{фр} = 0,5\omega D_p z_0 (\tau_p B_3 h \sin(\varphi_T + 0,5\gamma) + \sigma_p B_3 v_{п.с}/(nz_1) + m(0,5\omega D_p)^2/t). \quad (19)$$

Мощность для транспортирования и смешивания компонентов органоминерального компоста будем рассматривать как работу A , совершаемую за определенное время t .

$$P_{тр} = A/t = F_s l/t, \quad (20)$$

где F_s – сила, сопротивление перемещению; l – длина траектории движения отделенных компонентов.

Уравнение для суммарной силы сопротивления будет иметь следующий вид:

$$F_s = F_{тр.к} + F_{тр.в} + F_{тр.с} + F_{цб}, \quad (21)$$

где $F_{тр.к}$ – сила трения о кожух; $F_{тр.в}$ – сила трения о винтовую поверхность рабочего органа; $F_{тр.с}$ – сила трения о поверхность стоек, на которых установлены зубья рабочего органа; $F_{цб}$ – центробежная сила инерции.

Раскрывая силы, входящие в последнее выражение, получим:

$$F_s = mgf\cos\varphi + mgf\sin\alpha + fN_{бс} + 0,5m\omega^2 R\cos\theta. \quad (22)$$

Тогда мощность привода на транспортирование и смешивание будет определяться следующим образом:

$$P_{тр} = (mgf\cos\varphi + mgf\sin\alpha + fN_{бс} + 0,5m\omega^2 R\cos\theta) l/t. \quad (23)$$

Время t прохождения траектории длиной l определяется угловой скоростью рабочего органа ω , рад/с, $t = l/\omega$ для мощности привода получим выражение

$$P_{тр} = (mgf\cos\varphi + mgf\sin\alpha + N_{бс} + 0,5m\omega^2 R\cos\theta)ln, \quad (24)$$

где m – масса транспортируемых компонентов компоста, кг; f – коэффициент трения о поверхность кожуха и винта; φ , α , θ – углы между соответствующими силами и горизонтальной осью шнекового рабочего органа.

Сумма выражений (19) и (24) дает мощность $P_{p.o}$ рабочего органа.

Сложность процессов, происходящих в шнеке при транспортировании сыпучих грузов, не позволяет с необходимой точностью описывать движение отдельных частиц относительно друг друга. Моделировать процессы, происходящие в шнеке, с позиций смешивания компонентов традиционными методами теоретических исследований еще более затруднительно. В качестве инструмента может быть использована теория клеточных автоматов.

Шнек будем рассматривать как параллелепипед, разделенный на ячейки с размером, определяемым точностью описания процесса. Будем использовать 2-компонентную модель переноса масс в 3-мерной модели шнека. При обмене массами между двумя смежными ячейками перемещаются пропорциональные доли массы компоста и минерального удобрения:

$$sM = sM_1 + sM_2. \quad (25)$$

Для построения модели разработана программа на языке VBA, запускаемая как макрос с рабочего листа табличного процессора Excel.

$$\begin{bmatrix} p_1 \geq p_2 \\ d_p = \frac{(p_1 - p_2)}{2} \\ d_p \geq x \end{bmatrix} \cdot T,$$

где p_1 – масса ячеек в первом массиве; p_2 – масса ячеек во втором массиве; d_p – переносимая масса за один такт; x – максимальная масса; T – такт.

В диссертации приведены последовательность моделирования процесса смешивания и алгоритм работы модели.

При ширине шнека B , см, толщине слоя компоста h , см, и линейной скорости подачи компоста v , м/с, в шнек поступает объем

$$V = Bhv \text{ м}^3/\text{с}, \quad (26)$$

что для плотности компоста ρ , г/см³, дает скорость подачи компоста

$$MK_{sec} = Bh\nu\rho \text{ кг/с.} \quad (27)$$

Для дальнейшего моделирования необходимо задавать частоту вращения шнека, скорость подачи минеральных удобрений из бункера и другие параметры погрузчика-смесителя. На рисунке 4 представлена двухкомпонентная модель переноса масс в трехмерной модели шнека с размером ячейки $2 \times 2 \times 2$ см. Полученная модель процесса смешивания компоста при работе шнекового рабочего органа позволяет определять коэффициент смешивания при различных режимных параметрах.

В третьей главе «Программа и методика экспериментальных исследований» изложены программа и методика исследований и производственных испытаний (рисунок 5), дано описание экспериментальной установки.

Исследованиями установлены физико-механические свойства компоста и входящих в него материалов: влажность, плотность, коэффициент трения, коэффициент внешнего трения, сопротивление деформациям: сжатию и сдвигу. Основным показателем, характеризующим качество компоста, является коэффициент степени смешивания K . Данный коэффициент показывает соотношение между содержанием «ключевого компонента» в различных точках готового компоста по отношению к содержанию при теоретическом распределении.

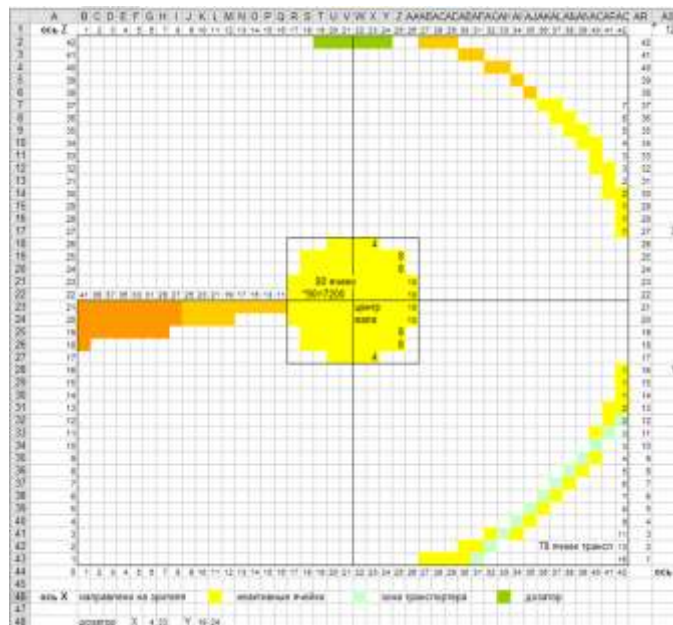


Рисунок 4 – Двухкомпонентная модель переноса масс в трехмерной модели шнека. Схема в боковом сечении



Рисунок 5 – Погрузчик-смеситель в работе

Программа исследований включала в себя серию двух- и однофакторных экспериментов. Однофакторным экспериментом установлены исследуемые диапазоны поступательной скорости, частоты вращения барабана в бункере-дозаторе и угловые скорости вращения шнека. Двухфакторными экспериментами исследовали влияние на производительность и степень смешивания органоминерального компоста угловой скорости вращения шнека, высоты зубьев и частоты вращения барабана в бункере-дозаторе.

В четвертой главе «Результаты экспериментальных исследований» представлены результаты исследований физико-механических свойств компонентов и готовых органоминеральных компостов, с которыми исследовали погрузчик-смеситель. Приведены результаты экспериментальных исследований.

Уравнение регрессии, описывающее изменение производительности для скорости 0,05 м/с погрузчика-смесителя от частоты вращения шнека n , мин^{-1} , и высоты зубьев L , мм, имеет следующий вид:

$$Q = 28,415 + 0,00058n^2 + 0,0043L^2 - 0,0000021n^3 - 0,000064L^3. \quad (23)$$

Графически данное уравнение представлено на рисунке 6. Анализ данного уравнения и соответствующей ему поверхности отклика в сравнении с откликами при других режимах работы, показывает, что зависимость производительности как от частоты вращения шнека n , мин^{-1} , так и от высоты зубьев L , мм, имеет нелинейный характер.

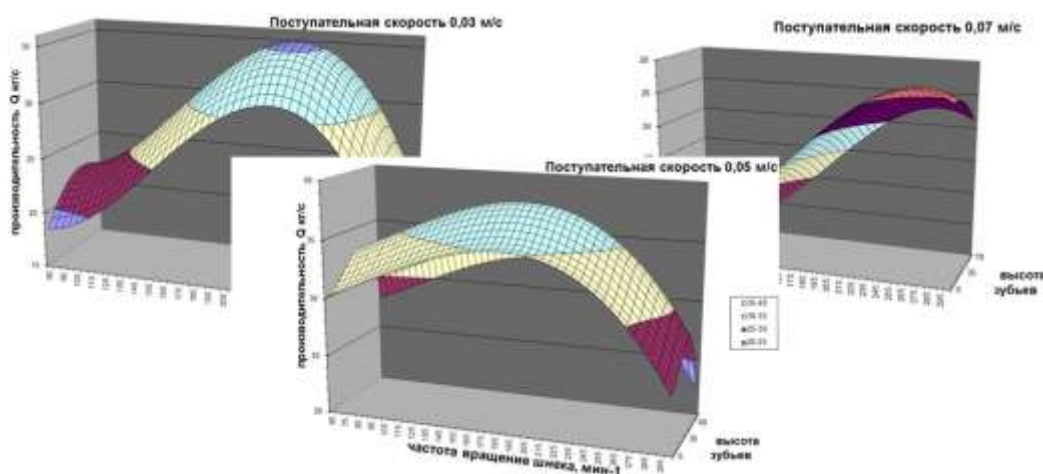


Рисунок 6 – Зависимость производительности погрузчика-смесителя от частоты вращения шнека n , мин^{-1} , и высоты зубьев L , мм, при поступательной скорости 0,05 м/с

С увеличением частоты вращения производительность погрузчика-смесителя сначала увеличивается, достигает максимума, затем начинает снижаться. Для шнека диаметром 0,8 м и скорости подачи 0,05 м/с оптимальное значение высоты выступления зубьев, при котором производительность максимальна (38 кг/с при 170...230 мин⁻¹), составляет 40...50 мм.

Увеличение или уменьшение высоты зубьев от оптимального значения приводит к снижению производительности.

Уравнение регрессии, описывающее изменение коэффициента степени смешивания для скорости 0,03 м/с погрузчика-смесителя от частоты вращения шнека n , мин⁻¹, и частоты вращения барабана в бункере v , мин⁻¹, имеет следующий вид:

$$K = 0,356 + 0,003n + 0,013v - 0,0000069n^2 - 0,00019v^2 + 0,00000077v^3. \quad (24)$$

Графически данное уравнение представлено на рисунке 7, в сравнении с поступательной скоростью 0,05 и 0,07 м/с. Анализ показывает, что коэффициент степени смешивания K зависит как от частоты вращения шнека, так и от частоты вращения барабана.

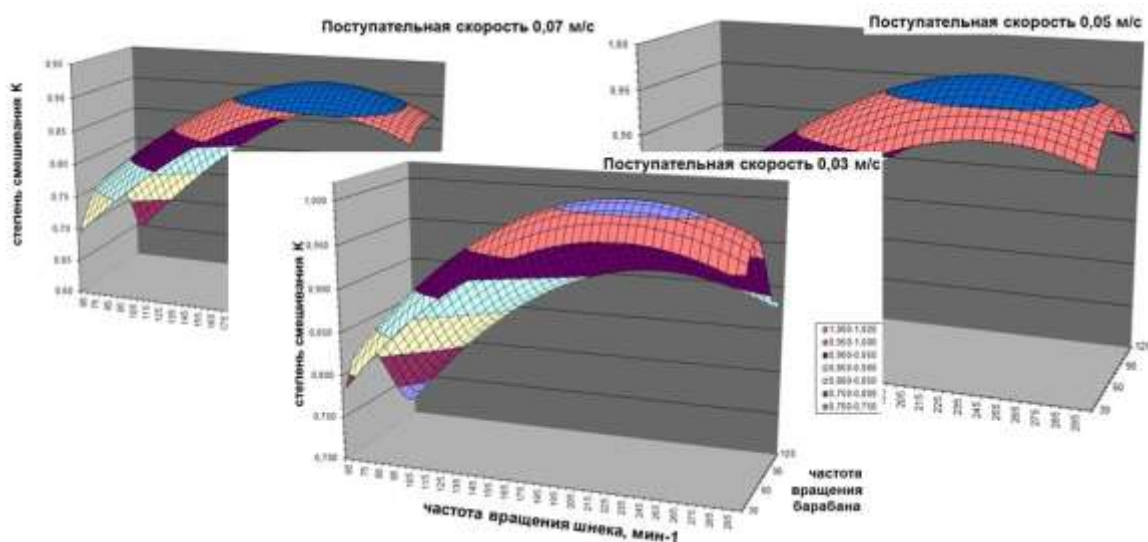


Рисунок 7 – Зависимость коэффициента степени смешивания K погрузчика-смесителя от частоты вращения шнека n , мин⁻¹, и частоты вращения барабана в бункере дозаторе v , мин⁻¹, при поступательной скорости 0,03, 0,05 и 0,07 м/с

С увеличением частоты вращения коэффициент степени смешивания погрузчика-смесителя сначала увеличивается, достигает максимума, затем начинает снижаться. Максимальное значение $K = 0,96–0,99$ при $n = 170...250$ мин⁻¹. Ко-

ээффициент степени смешивания погрузчика-смесителя зависит также и от частоты вращения барабана в бункере-дозаторе.

Максимальное значение коэффицента степени смешивания 0,96 при скорости 0,05 м/с находится в диапазоне частоты вращения 225...250 мин⁻¹. При скорости 0,07 м/с в диапазоне частоты вращения 195...245 мин⁻¹ максимальное значение коэффицента степени смешивания 0,92.

Проверена сходимость результатов эксперимента с теоретическими расчетами. На рисунке 8 изображены графики зависимости влияния угловой скорости вращения шнека и высоты зубьев на производительность погрузчика-смесителя и качество смешивания органоминерального компоста.

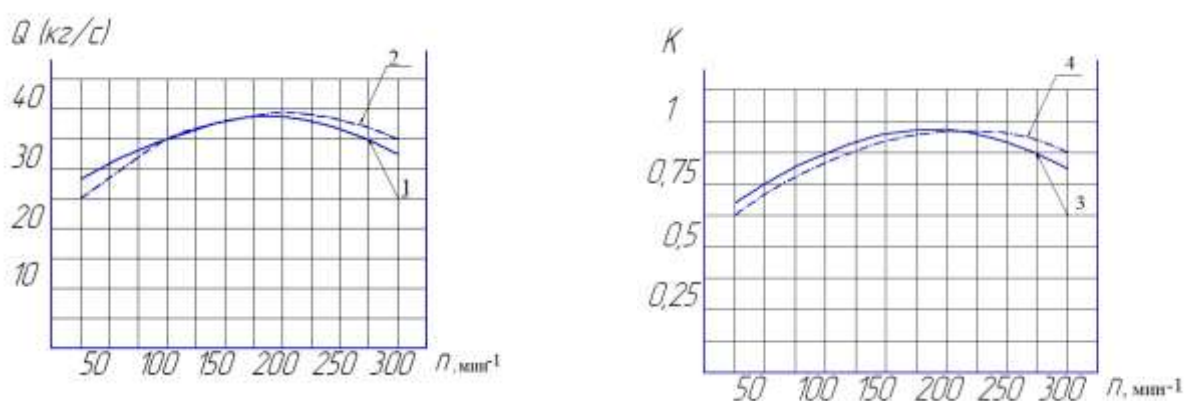


Рисунок 8 – Зависимости производительности погрузчика-смесителя Q и коэффицента степени смешивания K от частоты вращения шнека n (экспериментальная (1 и 3) и теоретическая (2 и 4))

В пятой главе «Технико-экономическая эффективность» определена экономическая эффективность от внедрения погрузчика-смесителя органоминерального компоста в сравнении с погрузчиком ПНД-250 и разбрасывателем РУН-800 при раздельной послойной укладке компонентов компоста. Экономический эффект достигается за счет снижения затрат труда, поскольку предлагаемый погрузчик-смеситель исключает разбрасывание минеральных удобрений. Годовой экономический эффект составил 201687,2 руб. в ценах на 01.10.2014 г.

Заключение

1. Анализ существующих исследований, литературных источников и производственного опыта показал недостаточную производительность и высокие за-

траты при производстве органоминерального компоста. В данный технологический процесс входит до 20 операций, и для каждой из них используют специальные машины, что приводит к снижению производительности и росту затрат. Процесс смешивания компонентов органоминерального компоста практически не исследовался. Вследствие этого имеет место недостаточная эффективность технических средств его приготовления.

2. Разработана классификация погрузчиков-смесителей органических удобрений и компостов и их рабочих органов. Основным направлением совершенствования погрузчиков-смесителей органоминерального компоста является совмещение операций смешивания и погрузки. В соответствии с этим разработана новая конструктивно-технологическая схема погрузчика-смесителя (патент на полезную модель № 119337) для приготовления органоминерального компоста с бункером-дозатором и шнекофрезерным рабочим органом (патент на полезную модель № 117906).

3. В результате теоретических исследований получены аналитические выражения для определения производительности смешивания и погрузки и мощности, необходимой для привода рабочих органов. Производительность имеет квадратичную зависимость от высоты зубьев и частоты вращения рабочего органа. Мощность, необходимая для привода, имеет параболическую зависимость третьего порядка от диаметра рабочего органа и его угловой скорости.

4. Получена модель процесса смешивания на основе теории клеточного массообмена, учитывающая конструктивные и режимные параметры. Для обеспечения требуемого качества смешивания шнекофрезерный рабочий орган диаметром 0,8 м и длиной 1,8 м должен иметь частоту вращения не менее $159 \dots 165 \text{ мин}^{-1}$.

5. Получены зависимости и уравнения регрессии, описывающие влияние конструктивных и режимных параметров на производительность и качество смешивания органоминерального компоста. Наибольшая производительность достигается при частоте вращения $n = 175 \dots 215 \text{ мин}^{-1}$, поступательной скорости движения погрузчика 0,05 м/с и высоте зубьев над наружной кромкой шнека 40...50 мм.

Наилучшая степень смешивания при поступательной скорости движения погрузчика 0,05 м/с и высоте зубьев над наружной кромкой шнека 40...50 мм достигается при частоте вращения шнекового рабочего органа $n = 175...215 \text{ мин}^{-1}$, частоте вращения барабана бункера-дозатора 60 мин^{-1} и составляет 0,96, что соответствует агротехническим требованиям.

6. Годовой экономический эффект от внедрения погрузчика-смесителя органоминерального компоста составляет 201687,2 руб. в ценах на 01.10.2014 г., срок окупаемости дополнительных капиталовложений составляет 1,7 года.

Рекомендации. Полученные результаты могут быть использованы проектными и конструкторскими организациями на стадии проектирования новых погрузчиков-смесителей, в учебном процессе – студентами, аспирантами и научными сотрудниками.

Перспектива дальнейшей разработки темы: совершенствование технологий и рабочих органов погрузчиков-смесителей компоста и органических удобрений, позволяющих повысить производительность и снизить затраты труда и энергии на их смешивание и погрузку.

СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Публикации в изданиях, рекомендованных ВАК Минобрнауки РФ

1. Дзюбан, И.Л. Погрузчик-смеситель органоминерального компоста / И.Л. Дзюбан // Сельский механизатор. – 2014. – № 5. – с. 5.
2. Дзюбан, И. Л. Результаты исследований производительности погрузчика-смесителя органоминерального компоста / П.И. Павлов, И.Л. Дзюбан // Вестник Саратовского госагроуниверситета им. Н.И. Вавилова. – 2014. – № 7. – С. 35–37.
3. Дзюбан, И. Л. 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.

Патенты на полезную модель

4. Пат. №117906 Российская Федерация, МПК В65G 67/24, В65G 65/22. 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. – 1 с.: ил.

5. Пат. №119337 Российская Федерация, МПК В65G 65/22, А01С 3/04. 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. – 2 с.: ил.

Публикации в других изданиях

6. Дзюбан, И.Л. Погрузчик-смеситель органоминеральных удобрений / П.И.Павлов, И.Л. Дзюбан // Сборник работ VIII Саратовского салона изобретений, инноваций и инвестиций. – Саратов, 2013. – Ч. 1. – С. 277–278.

7. Пат. №117906 Российская Федерация, МПК В65G 67/24, В65G 65/22. 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. – 1 с.: ил.

8. Пат. №119337 Российская Федерация, МПК В65G 65/22, А01С 3/04. 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. – 2 с.: ил.

9. 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: КУБиК, 2012. – С. 175–176.

10. 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: КУБиК, 2012. – С. 177–180.

11. Дзюбан, И.Л. Теоретическое исследование взаимодействия шнекового рабочего органа погрузчика-смесителя с компонентами органоминерального компоста / П.И. Павлов, А.О. Везиров, И.Л. Дзюбан // Научная мысль. – 2015. – № 3. – С. 131–134.