

На правах рукописи



Суворов Сергей Александрович

**ОБОСНОВАНИЕ КОНСТРУКТИВНО-РЕЖИМНЫХ ПАРАМЕТРОВ
СМЕСИТЕЛЯ ДЛЯ ПРИГОТОВЛЕНИЯ
ЖИДКИХ ОРГАНОМИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ**

Специальность 05.20.01 - Технологии и средства
механизации сельского хозяйства

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание учёной степени
кандидата технических наук

Барнаул – 2017

Работа выполнена на кафедре «Наземные транспортно-технологические системы» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова»

Научный руководитель:

Сороченко Сергей Федорович,
кандидат технических наук, доцент

Официальные оппоненты:

Сабиев Уахит Калижанович,
доктор технических наук, профессор,
профессор кафедры «Агроинженерии факультета
технического сервиса в АПК» ФГБОУ ВО
«Омский государственный аграрный университет
им. П.А. Столыпина»

Котов Роман Александрович,
кандидат технических наук, инженер по
эксплуатации МТА в ЗАО «ОРБИТА».

Ведущая организация:

Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего
образования «Новосибирский государственный
аграрный университет» (ФГБОУ ВО НГАУ)

Защита диссертации состоится 16 июня 2017 г. в 12 часов на заседании диссертационного совета Д 212.004.02 при ФГБОУ ВО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова» по адресу: 656038. г. Барнаул, пр-т Ленина, 46, тел/факс +7 (3852) 36-71-29, официальный сайт: <http://www.altstu.ru>; электронный адрес: epb_401@mail.ru, jet.barnaul@mail.ru.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова» и на официальном сайте: <http://www.altstu.ru/media/f/Dissertaciya-Suvorov-S.A..pdf>

Автореферат разослан «___» _____ 2017 г.

Учёный секретарь
диссертационного совета,
д.т.н., профессор



Куликова Лидия Васильевна

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. В соответствии с Государственной программой развития сельского хозяйства и регулирования рынков сельскохозяйственной продукции, сырья и продовольствия на 2013 – 2020 гг., одной из задач подпрограммы «Развитие подотрасли животноводства, переработки и реализации продукции животноводства» является «развитие социально значимых отраслей – овцеводства и козоводства, обеспечивающих сохранение традиционного уклада жизни и занятости отдельных народов, в том числе народов Крайнего Севера, Сибири и Дальнего Востока» (в редакции постановления Правительства Российской Федерации от 12 декабря 2014 г, № 1421).

Одним из регионов, в которых развивается традиционное животноводство, является Республика Алтай. Пастбищное скотоводство распространено на высокогорных плато. На пастбищах почвы песчаные с низким содержанием гумуса от 0,98 до 1,53 %, в верхнем горизонте почва засорена камнями на 77 %. Для производства зеленого корма применяют орошение с помощью дождевальных машин «Фрегат». Посев семян сельскохозяйственных культур (преимущественно овса) производят зерновыми сеялками с одновременным внесением минеральных удобрений, эффективность применения которых на песчаных почвах невысока. Кроме этого, на высокогорных пастбищах имеется большое скопление перегноя, являющегося ценным органоминеральным удобрением. Внесение перегноя в почву традиционным способом – разбрасыванием с последующей запашкой, невозможно из-за большого количества камней и выноса их на поверхность поля. Существующие в настоящее время агрегаты по внесению жидких органоминеральных удобрений (ЖОУ) не имеют устройств для смешивания твердой фазы органоминерального наполнителя с водой, не обеспечивают одновременного внесения полученного жидкого удобрения в почву при посеве семян и имеют большие энергозатраты на перемешивание жидкого удобрения гидромешалками. Поэтому обоснование параметров смесителя для приготовления жидкого органоминерального удобрения в составе комбинированного посевного агрегата, предназначенного для внесения жидких органоминеральных удобрений при посеве семян зерновых культур на высокогорных пастбищах, является актуальной задачей.

Актуальность темы диссертации подтверждается тем, что она соответствует следующим программам:

- государственной программе развития сельского хозяйства и регулирования рынков сельскохозяйственной продукции, сырья и продовольствия на 2013 – 2020 гг. (в редакции правительства РФ № 1421 от 12 декабря 2014 г);
- республиканской целевой программе «Развитие агропромышленного комплекса Республики Алтай на 2011 – 2017 годы», утверждённой Постановлением Правительства Республики Алтай от 8.11.2010 г. № 234;
- программе Международного координационного совета «Наш общий дом – Алтай», направленной на развитие сельского и лесного хозяйства на территории Большого Алтая (Алтайский край, Республика Алтай, Западная Монголия, Китай, Восточный Казахстан).

Диссертационная работа выполнена при поддержке:

- фонда содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере «Участник Молодежного Научно-Инновационного Конкурса» (У.М.Н.И.К.);
- гранта Губернатора Алтайского края для поддержки инновационной деятельности машиностроительных предприятий края 2015 г., в рамках которого

совместно выполнялась НИОКР с заводом ООО «Завод Механических Прессов» (г. Барнаул) на создание и испытание опытного образца агрегата.

Степень разработанности темы.

Теоретическим исследованиям приготовления жидких органоминеральных удобрений посвящены работы ученых Р.Р. Гараева, С.Г. Мударисова, Г.В. Романова, Б.Е. Степанова, Н.А. Чернецкой, Ю.А. Шапошникова и др.

Исследованиям по перемещению материалов в аппаратах со спирально-винтовым рабочим органом посвящены работы ученых Н.Н. Аксеновой, В.Г. Артемьева, М.М. Алькерем, С.Ю. Астапова, В.С. Басырова, А.М. Григорьева, Р.М. Гайсина, Х.Х. Губейдуллина, В.П. Забродина, Ю.М. Исаева, В.В. Когача, И.Г. Пономаренко, Н.М. Симашкина, С.Ф. Сороченко, П.А. Савиных, Н.В. Турубанова, А.Н. Тропина, Е.Е. Гришкова и др.

Исследованиями смешивания компонентов в смесителе занимались ученые У.К. Сабиев, А.Н. Яцунов, А.В. Черняков, Р.А. Котов, И.Я. Федоренко и др.

Однако процесс смешивания компонентов жидких органоминеральных удобрений в смесителе со спирально-винтовым рабочим органом не изучен достаточно полно и требует дальнейших исследований, нет обоснования конструктивно-режимных параметров смесителя, не определена мощность, затрачиваемая на смешивание компонентов ЖОУ.

Цель работы – повышение эффективности приготовления жидких органоминеральных удобрений путем снижения энергозатрат и обоснования конструктивно-режимных параметров смесителя в составе комбинированного посевного агрегата.

В соответствии с поставленной целью необходимо решить следующие **задачи**:

- 1) разработать схему комбинированного посевного агрегата для внесения жидких органоминеральных удобрений при посеве семян зерновых культур (овса) на высокогорных пастбищах;
- 2) выявить основные закономерности перемещения и смешивания компонентов жидких органоминеральных удобрений в смесителе с ленточно-винтовой мешалкой;
- 3) выявить взаимосвязь потребляемой мощности с конструктивно-режимными параметрами смесителя и физико-механическими свойствами компонентов жидких органоминеральных удобрений;
- 4) обосновать конструктивно-режимные параметры смесителя;
- 5) разработать и испытать опытный образец смесителя, дать технико-экономическую оценку применения агрегата.

Научную новизну представляют:

- способ и схема комбинированного посевного агрегата для локального внесения жидких органоминеральных удобрений при посеве зерновых культур (овса) для зеленого корма на высокогорных пастбищах;
- установленные закономерности перемещения и смешивания компонентов жидких органоминеральных удобрений в смесителе с ленточно-винтовой мешалкой;
- установленная зависимость мощности, затрачиваемой на смешивание компонентов жидких органоминеральных удобрений, от их физико-механических свойств и параметров смесителя;
- результаты экспериментальных исследований смешивания компонентов жидких органоминеральных удобрений в смесителе с ленточно-винтовой мешалкой.

Новизна предложенного способа подтверждена патентом на изобретение РФ № 2557618. Новизна предложенной конструкции комбинированного посевного агрегата подтверждена положительным решением о выдаче патента на полезную модель по заявке № 2016128630/13 (044641) от 06.02.2017 г.

Теоретическую значимость представляют:

- закономерности перемещения и смешивания компонентов жидких органоминеральных удобрений в смесителе с ленточно-винтовой мешалкой;
- установленная зависимость мощности, затрачиваемой на смешивание компонентов жидких органоминеральных удобрений, от их физико-механических свойств и параметров смесителя.

Практическая значимость работы:

- предложена схема комбинированного посевного агрегата для внесения жидких органоминеральных удобрений при посеве зерновых культур (овса) на высокогорных пастбищах;
- обоснованы конструктивно-режимные параметры смесителя для смешивания компонентов жидких органоминеральных удобрений;
- разработана методика инженерного расчета смесителя в составе комбинированного посевного агрегата.

Методология и методы исследования.

Теоретические исследования выполнялись с использованием положений, законов и методов классической механики, гидравлики, математики, математического моделирования и теории подобия. Экспериментальные исследования выполнены с применением метода планирования эксперимента. Обработка результатов проведена с использованием прикладных программ для персонального компьютера: MathCad V15, Microsoft Excel.

Основные положения, выносимые на защиту:

- схема комбинированного посевного агрегата для внесения жидких органоминеральных удобрений при посеве семян зерновых культур (овса) на высокогорных пастбищах;
- закономерности перемещения и смешивания компонентов жидких органоминеральных удобрений в смесителе с ленточно-винтовой мешалкой;
- установленная зависимость мощности, затрачиваемой на смешивание компонентов жидких органоминеральных удобрений, от их физико-механических свойств и параметров смесителя;
- результаты экспериментальных исследований по обоснованию конструктивно-режимных параметров смесителя.

Степень достоверности работы. Достоверность основных положений и выводов подтверждается использованием современной контрольно-измерительной и вычислительной техники, соблюдением методик, изложенных в действующих стандартах, статистической обработки экспериментальных данных, согласованностью теоретических и экспериментальных исследований.

Реализация результатов исследований. Результаты научной работы используются в учебном процессе Алтайского государственного технического университета им. И. И. Ползунова и переданы в ООО «Завод Механических Прессов» (г. Барнаул) для изготовления опытного образца агрегата.

Апробация работы. Основные положения работы представлены и доложены:

на конкурсе «У.М.Н.И.К.» (г. Барнаул, 2013 г.); международном молодёжном управленческом форуме «Алтай. Точки Роста - 2014» и форуме «ШОС по предпринимательству и приграничному сотрудничеству» (г. Белокуриха, 2014 г.); 1-ом российско-индийско-монгольском семинаре «Алтай - Гималаи: традиционные знания и инновации в развитии горных и предгорных регионов Евразии», 19-20 июня 2015 г. (г. Барнаул, ФГБОУ ВО «Алтайский государственный аграрный университет»); межрегиональной конференции с международным участием «Переход к зелёной экономике и устойчивому развитию в Алтайском крае:

перспективы, механизмы, ключевые направления», 22 - 24 октября 2015 г. (г. Барнаул, АлтГТУ); XI, XII, XIII Всероссийских научно-технических конференциях студентов, аспирантов и молодых ученых «Наука и молодёжь – 2014, 2015, 2016» (г. Барнаул, АлтГТУ); 72, 73, 74-ой научно-технических конференциях студентов, аспирантов и профессорско-преподавательского состава технического университета 2014, 2015, 2016 г. (г. Барнаул, АлтГТУ).

Публикации. По теме диссертационной работы опубликовано 11 работ, из них 4 в изданиях рекомендованных ВАК. Получен патент на изобретение № 2557618 и положительное решение на выдачу патента на полезную модель по заявке № 2016128630/13 (044641) от 06.02.2017 г.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы и приложений. Объем диссертации 175 стр., в том числе 163 страниц основного текста, 61 рисунок, 15 таблиц; список литературы включает в себя 140 источников, из которых 7 на иностранном языке.

Автор выражает особую благодарность коллегам кафедры «Наземные транспортно-технологические системы», которые принимали участие и оказывали помощь в экспериментальных исследованиях смесителя.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность и степень разработанности темы, сформулированы цель и задачи работы, научная новизна, теоретическая и практическая значимость, основные положения, выносимые на защиту, степень достоверности работы, апробация, структура и объем работы.

В первой главе описаны регионы Большого Алтая, в которых проявилась проблема деградации высокогорных пастбищ. Такими регионами являются Республика Алтай и соседние аймаки Западной Монголии. Проведен анализ технологий возделывания зерновых культур и способов повышения продуктивности деградированных почв, из которого выявлено, что наиболее предпочтительной технологией является *No-till*, которая способствует сохранению влаги, питательных элементов и исключает появление эрозионных процессов. Так же при возделывании зерновых культур для зеленого корма можно использовать жидкие органоминеральные удобрения, в качестве которого может быть применен перегной, смешанный с жидким раствором гуминовых удобрений и водой. Используемые в настоящее время агрегаты для внесения жидких органоминеральных удобрений в почву широко используются в сельском хозяйстве, однако в них отсутствует узел для смешивания органоминерального удобрения с водой, кроме этого они не обеспечивают локальное внесение жидких органоминеральных удобрений в почву при посеве семян.

Теоретическим исследованиям приготовления жидких органоминеральных удобрений посвящены работы ученых Р.Р. Гараева, С.Г. Мударисова, Г.В. Романова, Б.Е. Степанова, Н.А. Чернецкой, Ю.А. Шапошникова и др.

Исследованиям по перемещению материалов в аппаратах со спирально-винтовым рабочим органом посвящены работы ученых Н.Н. Аксеновой, В.Г. Артемьева, М.М. Алькерем, С.Ю. Астапова, В.С. Басырова, А.М. Григорьева, Р.М. Гайсина, Х.Х. Губейдуллина, В.П. Забродина, Ю.М. Исаева, В.В. Когача, И.Г. Пономаренко, Н.М. Симашкина, С.Ф. Сороченко, П.А. Савиных, Н.В. Турубанова, А.Н. Тропина, Е.Е. Гришкова и др.

Вопросами по определению мощности в аппаратах с мешалками лопастного и спирально-винтового типа занимались ученые Д.А. Скотников, Ю.М. Исаев, Н.Н. Аксенов, В.В. Коган, Н.А. Чернецкая, Ю.А. Шапошников, П.А. Савиных, Н.В. Турубанов, Д.А. Зырянов, С.Ю. Астапов и др.

Исследованиями смешивания компонентов в смесителе занимались ученые У.К. Сабиев, А.Н. Яцунов, А.В. Черняков, Р.А. Котов, И.Я. Федоренко и др.

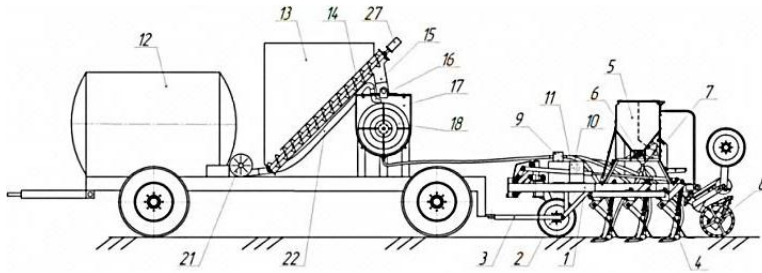
На основании анализа работ установлено, что для обеспечения качественного смешивания компонентов жидкого органоминерального удобрения целесообразно использовать смеситель со спирально-винтовой мешалкой. Сформулированы выводы, на основании которых поставлена цель и задачи работы.

Во второй главе предложен способ, включающий локальное внесение питательной влагоаккумулирующей композиции (ПВК) при посеве семян зерновых культур (овса) для получения зеленого корма на высокогорных пастбищах. ПВК представляет собой водную смесь, в состав которой входит: влагоаккумулирующий сорбент от 5 до 30 % (торф, лузга, древесные опилки, измельченная солома), который подвергается механоактивации в роторном дисмембраторе до достижения размера частиц от 50 до 900 мкм; органоминеральный наполнитель – от 10 до 60 % (перегной, глина, жидкое гуминовое удобрение). Способ защищен патентом РФ № 2557618. На высокогорных пастбищах с достаточным для растений запасом влаги в почве и на орошаемых участках возможно внесение жидкого органоминерального удобрения, состоящего из перегноя и воды.

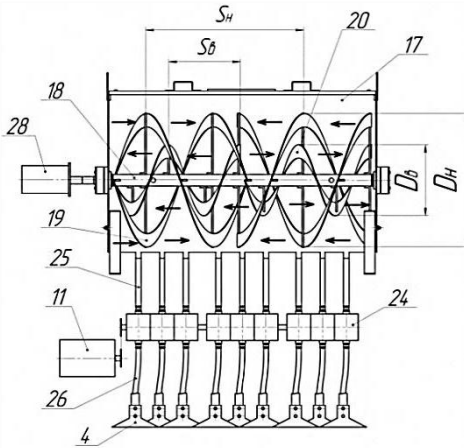
Предложена схема комбинированного посевного агрегата (рисунок 1), для локального внесения жидкого органоминерального удобрения при посеве зерновых культур (овса) для зеленого корма на высокогорных пастбищах.

Комбинированный посевной агрегат состоит из зерновой сеялки и шасси. Зерновая сеялка состоит из рамы 1, опорных колес 2 с присоединительным устройством 3. На раме закреплены сошники 4, бункер 5 с двумя отсеками для семян и сыпучих минеральных удобрений. В нижней части бункера установлены высевальные аппараты 6 с семяпроводами 7. К задней части рамы крепится прикатывающий каток 8.

На раму установлена платформа с дозирующим устройством 9 и гибкими трубопроводами 10. Привод дозирующего устройства осуществляется через цепные передачи от прикатывающих катков 8 через редуктор 11. На шасси установлена емкость 12 и бункер для сыпучих органических удобрений 13 с расположенным внутри наклонным винтовым транспортером 14. Выгрузной лоток 15 винтового транспортера контактирует с форсункой 16, размещенной в загрузочной горловине смесителя 17, выполненного в виде корпуса с ленточно-винтовой мешалкой 18, состоящей из наружной 19 и внутренней спиралей 20. Наружная спираль 19 выполнена двухзаходной с левым и правым направлением наливки, а внутренняя спираль 20 выполнена однозаходной с правым и левым направлением наливки. Емкость 12 соединена через насос 21 с нижним концом эластичного трубопровода 22, верхний конец которого помещен в загрузочную горловину смесителя 23. Дозирующее устройство 9 выполнено в виде секционного насоса-дозатора импеллерного типа 24, секции которого соединены всасывающими гибкими трубопроводами 25 со смесителем, а подающими гибкими трубопроводами 26 связаны с насадками для подачи ЖОУ. Насадки закреплены на каждой стойке сошника 4. Привод наклонного винтового транспортера осуществляется от гидромотора 27. Привод ленточно-винтовой мешалки осуществляется от гидромотора 28.



а)



б)

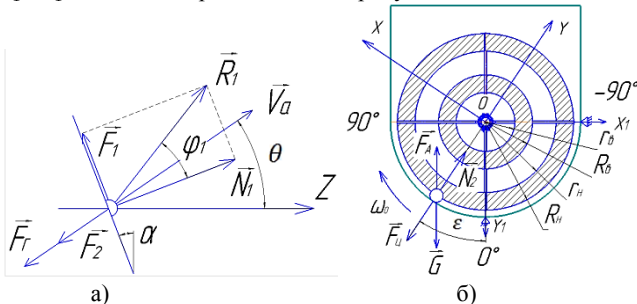
Рисунок 1 – Общий вид комбинированного посевного агрегата: а – схема комбинированного посевного агрегата; б - система смешивания и подачи ЖОУ к сошникам

Процесс смешивания компонентов жидкого органоминерального удобрения в смесителе происходит за счет циркуляции потоков ЖОУ, которые создают внешняя и внутренняя спирали (см. рисунок 1,б). Внешние спирали направляют поток от периферии стенок корпуса к центру, а внутренние от центра к стенкам корпуса смесителя.

Качество смешивания компонентов ЖОУ зависит от кинематических параметров их движения, зависящих от конструктивных параметров и режимов работы смесителя.

Рассмотрено перемещение частицы органоминерального наполнителя в ленточно-винтовом смесителе при смешивании с водой. Ось Z

ленточно-винтовой мешалки расположена горизонтально, а поперечное сечение смесителя находится в координатах XOY относительно неподвижной системы координат X_1OY_1 . Схема сил представлена на рисунке 2.



а)

б)

Рисунок 2 – Схема сил, действующих на частицу, перемещаемой наружной спиралью; а – вид сверху; б – поперечное сечение

На частицу перемещаемой наружной спиралью мешалки, кроме силы тяжести G , нормальных реакций спирали N_1 и корпуса смесителя N_2 , сил трения о спираль $F_1 = f_1 \cdot N_1$ (где f_1 – гидравлический коэффициент трения частицы о спираль) и корпус $F_2 = f_2 \cdot N_2$ (где f_2 – гидравлический коэффициент трения частицы о корпус смесителя), сил Кориолиса и сил инерции действуют сила Архимеда F_A и гидродинамическая сила сопротивления жидкости F_r .

Сила Архимеда равна:

$$F_A = \rho \cdot g \cdot V_{\text{ч}}, \quad (1)$$

где ρ – плотность жидкости, кг/м^3 ; g – ускорение свободного падения, м/с^2 ; $V_{\text{ч}}$ – объем вытесненной частицы, м^3 .

Гидродинамическая сила F_r определена по формуле, предложенной Ю.М. Исаевым:

$$F_r = \xi \cdot S_{\text{мд}} \cdot \frac{\rho \cdot v_a^2}{2}, \quad (2)$$

где ξ – коэффициент гидродинамического сопротивления; $S_{\text{мд}} = \pi R_{\text{ч}}^2$ – миделево сечение частицы, м^2 ; v_a – абсолютная скорость движения частицы, м/с .

В соответствии с рекомендацией А.М. Григорьева введена результирующая сила R_1 между нормальной реакцией спирали N_1 и силой трения частицы о спираль F_1 (см. рисунок 2,а). Вместо центробежных сил переносного, относительного движений и силы Кориолиса введена центробежная сила $F_{\text{ц}}$ абсолютного движения частицы:

$$F_{\text{ц}} = m \cdot R_{\text{н}} \cdot \omega_a^2, \quad (3)$$

где $R_{\text{н}}$ – наружный радиус наружной спирали, м ; ω_a – угловая скорость абсолютного движения частицы, рад/с .

Предполагаем, что частица органоминерального наполнителя имеет сферическую форму, тогда объем частицы определяется формулой:

$$V_{\text{ч}} = \frac{4}{3} \cdot \pi \cdot R_{\text{ч}}^3, \quad (4)$$

где $R_{\text{ч}}$ – радиус частицы органоминерального наполнителя, м .

Масса частицы равна:

$$m = V_{\text{ч}} \cdot \rho_{\text{ч}} = \frac{4}{3} \cdot \pi \cdot R_{\text{ч}}^3 \cdot \rho_{\text{ч}}, \quad (5)$$

где $\rho_{\text{ч}}$ – плотность частицы органоминерального наполнителя, кг/м^3 .

Математическая модель движения частицы органоминерального наполнителя, перемещаемой наружной спиралью имеет вид:

$$\begin{cases} m\ddot{x} = -G \cdot \sin \varepsilon - F_2 \cdot \sin \theta + F_A \cdot \sin \varepsilon + R_1 \cdot \sin(\alpha + \varphi_1) - F_r \cdot \sin \theta \\ m\ddot{y} = N_2 - G \cdot \cos \varepsilon + F_A \cdot \cos \varepsilon - F_{\text{ц}} \\ m\ddot{z} = -F_2 \cdot \cos \theta + R_1 \cdot \cos(\alpha + \varphi_1) - F_r \cdot \cos \theta, \end{cases} \quad (6)$$

где ε – угол, определяющий положение частицы относительно вертикальной плоскости, проходящей через ось мешалки; θ – угол, определяющий направление движения частицы относительно оси мешалки; α – угол подъема винтовой поверхности спирали; φ_1 – гидравлический угол трения частицы о спираль.

Система дифференциальных уравнений (6) решена при установившемся режиме ($\ddot{x} = 0, \ddot{y} = 0, \ddot{z} = 0$) и получено выражение, определяющее значение угла θ при различном положении частицы в ленточно-винтовом смесителе в зависимости от угла ε , изменяющегося в диапазоне от -90° до 90° (см. рисунок 2,б):

$$V_{CM} = \frac{Q_M \cdot t}{\rho_{ж\text{ков}} \cdot j} = \frac{3 \cdot 360}{1100 \cdot 0.75} = 1,16 \text{ м}^3, \quad (12)$$

где t – время смешивания, с; $\rho_{\text{ж.о.у}}$ – плотность жидкого органоминерального удобрения, $\rho_{\text{ж.о.у}} = 1100 \text{ кг/м}^3$; j – уровень наполнения смесителя, $j = 0,75$.

Приняв объем смесителя равным $V_{\text{см}} = 1 \text{ м}^3$ и на основании принятого соотношения диаметра смесителя с длиной $k = 2$, определен диаметр смесителя:

$$D_{\text{см}} = \sqrt[3]{\frac{4 \cdot V_{\text{см}}}{\pi \cdot k}}. \quad (13)$$

Длина смесителя определена по формуле:

$$L_{\text{см}} = k \cdot D_{\text{см}}. \quad (14)$$

Диаметр наружной спирали мешалки $D_{\text{н}}$ согласно ГОСТ 20680-2002 находится из соотношения $D_{\text{см}}/D_{\text{н}} = 1,03 \dots 1,3$, тогда $D_{\text{н}} = 0,75 \text{ м}$. Для обеспечения циркуляции потоков ЖОУ в смесителе диаметр внутренней спирали принят $D_{\text{в}} = 0,4 \text{ м}$, а шаг наружной и внутренней спиралей – равным соответствующим диаметрам: $s_{\text{н}} = D_{\text{н}} = 0,75 \text{ м}$; $s_{\text{в}} = D_{\text{в}} = 0,4 \text{ м}$.

Ширина спирали определена по формуле:

$$b_{\text{л}} = 0,1 \cdot D_{\text{н}} \quad (15)$$

Для принятых конструктивных параметров смесителя определены значения абсолютной скорости частицы в ленточно-винтовом смесителе при установившемся режиме. Расчеты проведены в программе MathCad V15. Получена зависимость $\theta = f(\epsilon)$, график которой представлен на рисунке 4.

При частоте вращения $n = 60 \text{ об/мин}$ наблюдается изменение угла θ в диапазоне от $30,9^\circ$ до $37,5^\circ$. При увеличении частоты вращения от 60 до 100 об/мин, изменение угла θ происходит незначительно. Таким образом, при $n = 60 \text{ об/мин}$ касательная составляющая абсолютной скорости, характеризующая окружную скорость частицы, имеет достаточно большое значение при рассматриваемых параметрах смесителя, что важно для обеспечения качественного смешивания компонентов. Абсолютная скорость частицы $v_{\text{а}}$ изменяется незначительно в рассматриваемых диапазонах угла ϵ и частотах вращения от 60 до 100 об/мин и находится в интервале от 0,7 до 1,16 м/с.

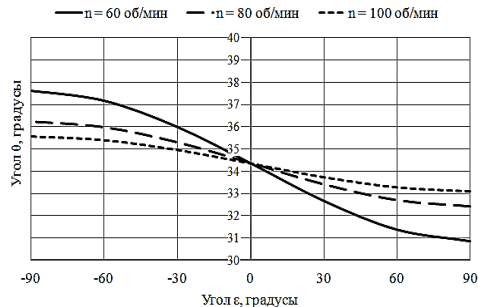


Рисунок 4 – Графики зависимости угла θ от положения частицы, определяемым углом ϵ

Рассмотрены факторы, влияющие на смешивание компонентов ЖОУ. С помощью теории подобия получены коэффициенты подобия:

$$n_{\text{нат}} = n_{\text{мод}} \cdot k_{\text{v}} \cdot k_{\text{d}}^{-2}, \quad (16)$$

где $n_{\text{нат}}$ и $n_{\text{мод}}$ – частота вращения мешалки натурального объекта и модели, об/мин; k_v – коэффициент подобия кинематической вязкости ЖОУ; k_d – коэффициент подобия диаметра наружной спирали мешалки.

Установлена связь между выходным параметром, который выражен через коэффициент вариации концентрации органоминерального наполнителя в пересчете на сухое вещество V_c , % и факторами, влияющими на смешивание компонентов ЖОУ:

$$V_c = f\left(\frac{v_{\text{жоу}}}{n \cdot D_d^2}; j; t\right). \quad (17)$$

На основании выражения (16) и регрессионной модели (22), полученной с помощью метода планирования эксперимента, построены зависимости коэффициента вариации от диаметра наружной спирали и кинематической вязкости жидкого органоминерального удобрения при уровнях заполнения смесителя $j = 0,75$ и $1,0$; $n = 80$ об/мин; $t = 30$ (рисунки 5 и 6).

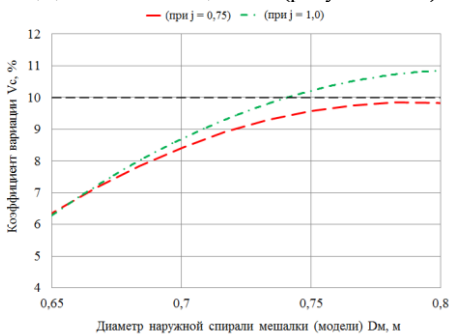


Рисунок 5 – Графики зависимости коэффициента вариации от диаметра наружной спирали

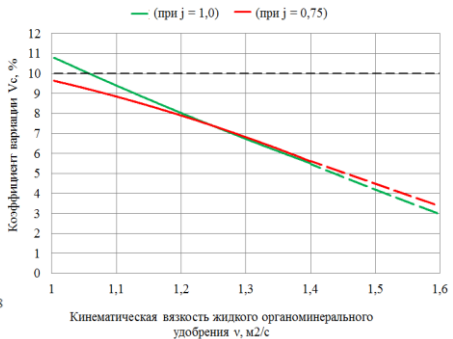


Рисунок 6 – Графики зависимости коэффициента вариации от кинематической вязкости жидкого органоминерального удобрения

Анализ зависимостей показал, что увеличение диаметра наружной спирали приводит к увеличению коэффициента вариации. При уровне заполнения $j = 1,0$ коэффициент вариации превышает 10 %, что говорит о некачественном смешивании компонентов. Поэтому целесообразно, чтобы диаметр наружной спирали находился в интервале от 0,65 до 0,75 м, а уровень заполнения $j = 0,75$. Увеличение кинематической вязкости ЖОУ ведет к снижению коэффициента вариации V_c . Для обеспечения качественного смешивания, при котором коэффициент вариации V_c будет менее 5 %, кинематическая вязкость должна быть более $1,45 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$.

Мощность, затрачиваемая на смешивание компонентов жидкого органоминерального удобрения, равна:

$$N = N_c + N_{\text{т.ф.}} + N_{\text{ш}}, \quad (18)$$

где N_c – мощность, затрачиваемая на преодоление сопротивления движению спиралей в жидкости, Вт; $N_{\text{т.ф.}}$ – мощность, затрачиваемая на перемещение твердой фазы органоминерального наполнителя спиральями, Вт; $N_{\text{ш}}$ – мощность, затрачиваемая на смешивание штангами, Вт.

Мощность N_c определена по выражению:

$$N_c = \frac{\xi_c \cdot \rho \cdot \omega_0^3 \cdot k_j}{8 \cdot \pi} [(R_n^2 - r_n^2) \cdot s_n^2 \cdot h_n \cdot k_n + (R_b^2 - r_b^2) \cdot s_b^2 \cdot h_b \cdot k_b], \quad (19)$$

где ξ_c – коэффициент гидродинамического сопротивления спирали; k_j – коэффициент, учитывающий уровень наполнения смесителя; r_n – внутренний радиус наружной спирали, м; h_n – плечо приложения силы гидродинамического сопротивления наружной спирали, м; k_n – количество заходов наружной спирали, шт; R_b и r_b – внешний и внутренний радиусы внутренней спирали, м; h_b – плечо приложения силы гидродинамического сопротивления внутренней спирали, м; k_b – количество заходов внутренней спирали, шт.

Мощность $N_{т.ф.}$ определена по выражению:

$$N_{т.ф.} = \pi \cdot \rho_{т.ф.} \cdot g \cdot [v_0 \cdot f_1 \cdot [\alpha_n \cdot s_n \cdot k_n \cdot (R_n^2 - r_n^2) + \alpha_b \cdot s_b \cdot k_b \cdot (R_b^2 - r_b^2)] + v_a \cdot f_2 \cdot \alpha_n \cdot (R_n^2 - r_n^2) \cdot s_n \cdot k_n], \quad (20)$$

где $\rho_{т.ф.}$ – плотность твердой фазы органоминерального наполнителя, кг/м³; v_0 – относительная скорость перемещения твердой фазы органоминерального наполнителя по спирали, м/с; α_n и α_b – углы кольцевого сегмента наружной и внутренней спирали соответственно, зависящий от уровня наполнения смесителя, рад.

Мощность $N_{ш}$ определена по выражению:

$$N_{ш} = \frac{\xi_{ш} \cdot d_{ш} \cdot \rho_{т.ф.} \cdot \omega_0^3 \cdot l_{ш}^4 \cdot z_{ш} \cdot k_j}{16}, \quad (21)$$

где $\xi_{ш}$ – коэффициент гидродинамического сопротивления штанги; $d_{ш}$ – диаметр штанги, м; $l_{ш}$ – длина штанги, м; $z_{ш}$ – количество штанг, шт.

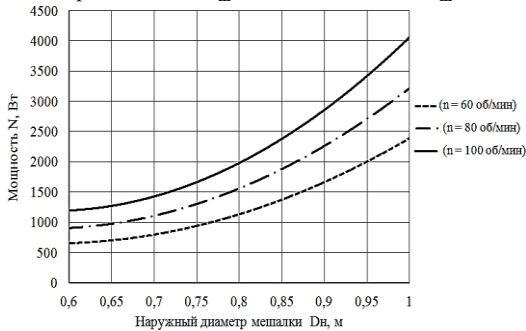


Рисунок 7 – Графики зависимости мощности от диаметра наружной спирали мешалки при различных частотах вращения мешалки ($s_n = 0,75$ м; $D_b = s_b = 0,4$ м; $\rho_{т.ф.} = 900$ кг/м³)

При увеличении диаметра наружной спирали от 0,75 до 1,0 м происходит увеличение мощности примерно в два раза. Таким образом, целесообразно принимать диаметр наружной спирали D_n в интервале от 0,6 до 0,75 м, при котором будут наименьшие энергозатраты, расходуемые на смешивание компонентов в смесителе.

По полученному выражению (18) построены графики зависимости мощности N от диаметра наружной спирали, шага наружной спирали и уровня наполнения смесителя при различных частотах вращения мешалки. (рисунки 7 и 8).

Как видно из графиков, увеличение диаметра спирали приводит к увеличению затрачиваемой мощности.

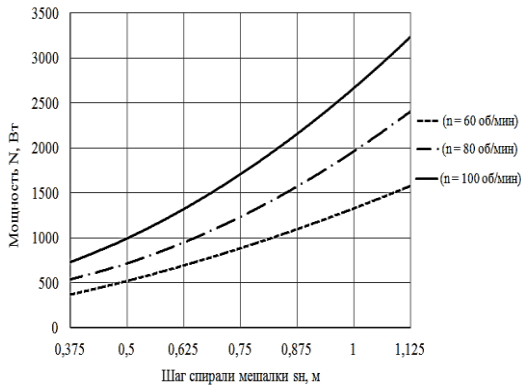


Рисунок 8 - Графики зависимости мощности от шага наружной спирали при различных частотах вращения мешалки ($D_H = 0,75$ м, $D_B = s_B = 0,4$ м; $\rho_{т.ф.} = 900$ кг/м³)

Увеличение шага наружной спирали s_n приводит к увеличению мощности, однако для обеспечения качественного смешивания необходимо иметь большое значение окружной скорости, которая достигается при наибольшем шаге спирали. Таким образом, чтобы обеспечить качественное смешивание компонентов ЖОУ и снизить энергозатраты, шаг наружной спирали целесообразно принять в интервале от 0,625 до 0,875 м.

В третьей главе представлены программа и методика экспериментальных исследований смесителя. Для проведения лабораторных испытаний изготовлена экспериментальная установка смесителя (рисунок 9).



Рисунок 9 – Экспериментальная установка: а – общий вид; б – ленточно-винтовая мешалка

Определены физико-механические свойства ЖОУ. В качестве органоминерального наполнителя использовали перегной КРС. С помощью прибора Желиговского определен гидравлический коэффициент трения перегной по стали $f = 0,3$; угол гидравлического трения $\varphi = 17^\circ$; средний эквивалентный диаметр частицы перегной $d_{эв} = 8,5$ мм; кинематическая вязкость ЖОУ, которая определена с помощью ротационного вискозиметра Fungilab, при соотношении (перегной/вода) по массе (1:1) $\nu_{ЖОУ} = 1,53 \cdot 10^{-6}$ м²/с; плотность ЖОУ изменяется в интервале от 1050 до 1101 кг/м³ в зависимости от соотношения компонентов.

Для обоснования интервалов варьирования факторов проведены однофакторные эксперименты. Пробы брали в верхнем и нижнем слоях в трех точках по длине смесителя с последующим определением концентрации перегной в пересчете на сухое вещество. Распределение концентрации в верхнем и нижнем слоях в трех точках по длине смесителя представлено на рисунке 10.

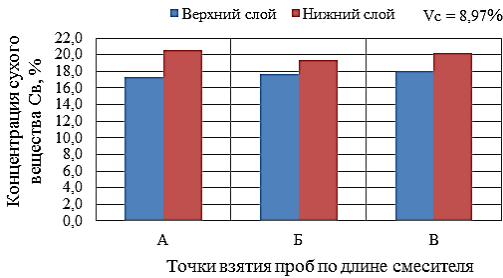


Рисунок 10 - Концентрация перегноя в пересчете на сухое вещество при частоте вращения мешалки 80 об/мин, времени смешивания 30 с и уровне наполнения смесителя $j = 0,5$ (А, Б, В - точки взятия проб в левой, центральной и правой частях смесителя соответственно)

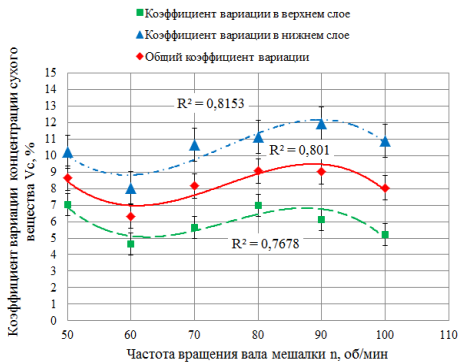


Рисунок 11 – Графики зависимостей коэффициентов вариации от частоты вращения мешалки (уровень наполнения $j = 0,5$; время смешивания 30 с)

За выходной параметр принят коэффициент вариации концентрации перегноя в пересчете на сухое вещество V_c , %. Измерительная аппаратура, используемая при проведении опытов: электронные весы MW-120 с точностью 0,01 г; сушильный шкаф СЭШ-3М. В результате обработки данных построены графики зависимости коэффициента вариации от частоты вращения мешалки и времени смешивания, представленные на рисунках 11 и 12.

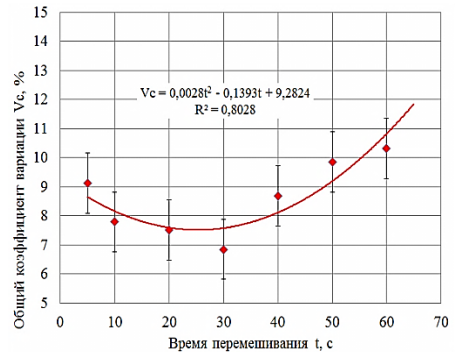


Рисунок 12 – График зависимости общего коэффициента вариации от времени смешивания (уровень наполнения $j = 0,5$; частота вращения мешалки $n = 80$ об/мин)

Исходя из результатов однофакторных экспериментов приняты интервалы варьирования факторов: частота вращения мешалки n от 60 до 100 об/мин; время смешивания t от 10 до 50 с; уровень наполнения смесителя j от 0,5 до 1,0.

Для определения рациональных параметров смесителя использовали метод планирования эксперимента. В качестве входных параметров приняты: X_1 – частота вращения мешалки; X_2 – время смешивания; X_3 – уровень наполнения смесителя. Для трехфакторного эксперимента применен композиционный трехуровневый симметричный план (эффективность по D-критерию $e^D = 0,986$). Уровни и интервалы варьирования факторов представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Уровни и интервалы варьирования факторов

Наименование фактора	Обозначение фактора	Уровни варьирования		
		-1	0	+1
Частота вращения мешалки, n	X_1	60	80	100
Время смешивания, t	X_2	10	30	50
Уровень наполнения смесителя, j	X_3	0,5	0,75	1

Повторность опытов равна *трем*. В результате обработки данных получена регрессионная модель, характеризующая качество смешивания компонентов ЖОУ в раскодированном виде, имеющей вид:

$$V_c = -22,113 + 0,737 \cdot n + 0,100 \cdot t - 6,968 \cdot j - 0,001 \cdot n \cdot t + 0,140 \cdot n \cdot j - 0,056 \cdot t \cdot j - 0,005 \cdot n^2 - 0,001 \cdot t^2. \quad (22)$$

Математическая модель является адекватной (расчетный критерий Фишера $F_{\text{расч}} = 1,82$; табличный критерий Фишера $F_{\text{табл}} = 2,20$) и описывает смешивание в диапазоне чисел Рейнольдса Re от 560300 до 933800. По полученному уравнению регрессии построены поверхности отклика при различных уровнях наполнения. На рисунке 13 представлена поверхность отклика при уровне наполнения $j = 0,75$.

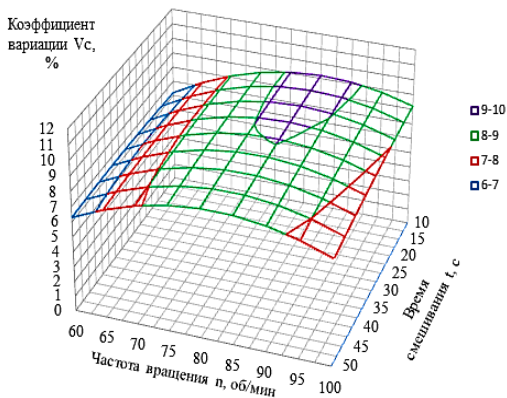


Рисунок 13 – Зависимость коэффициента вариации от частоты вращения мешалки и времени смешивания

шнековым транспортером 1,02 кг/с; подача воды 1,98 кг/с; $n = 60$ об/мин; уровень наполнения $j = 0,5$. Коэффициент вариации концентрации перегноя в пересчете на сухое вещество составил $V_c = 8,7$ %, что говорит о качественном смешивании компонентов ЖОУ. Результаты представлены на рисунке 14.

С помощью метода прямого поиска в программе MS Excel определены рациональные параметры ленточно-винтового смесителя: частота вращения мешалки $n = 60$ об/мин; время смешивания $t = 50$ с при различных уровнях наполнения смесителя j от 0,5 до 1,0; коэффициент вариации V_c находится в пределах от 5,60 до 6,29 %.

Проведены опыты по определению концентрации перегноя при смешивании с водой в зависимости от времени выгрузки при следующих параметрах: подача перегноя

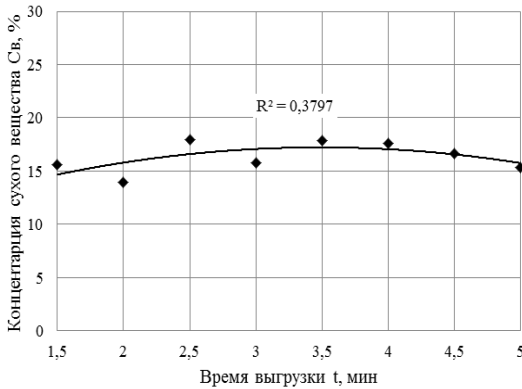


Рисунок 14 – График зависимости концентрации перегноя в пересчете на сухое вещество от времени выгрузки

Крутящий момент на валу мешалки определен тензометрированием. Для этого на муфту, соединяющую вал мешалки и вал гидромотора, приклеили тензорезисторы, соединенные в мост Уитстона (рисунок 15). Измерительная аппаратура, используемая при тензометрировании: ртутный токосъемник; усилитель ТОПАЗ-4-01; вольтамперметр М253 и осциллограф АСК3107/АСК3117.

Определена зависимость мощности от уровня наполнения смесителя при различных частотах вращения мешалки, представленная на рисунке 16. Расхождение между теоретическими и экспериментальными значениями мощности не превышает 10 %, что подтверждает согласованность теоретических и экспериментальных исследований.



Рисунок 15 – Муфта с приклеенными тензорезисторами и ртутным токосъемником

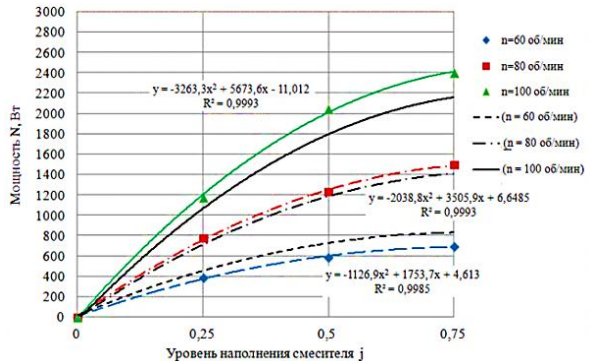


Рисунок 16 – Теоретические и экспериментальные значения мощности

В четвертой главе изложены результаты полевых испытаний способа по применению питательной влагоаккумулирующей композиции при посеве семян овса, которые проходили в высокогорном районе Республики Алтай на песчано-каменистой почве с низким содержанием гумуса от 0,98 до 1,53 %. Результаты показали, что внесение питательной влагоаккумулирующей композиции позволило достичь увеличения массы овса в 2 раза при посеве овса без внесения ПВК и в 1,3 раза в сравнении с посевом овса на орошаемом участке поля.

Предложена методика инженерного расчета ленточно-винтового смесителя, позволяющая определить его конструктивно-режимные параметры.

Согласно ГОСТ Р 53056-2008 «Техника сельскохозяйственная. Методы экономической оценки» определен годовой экономический эффект от использования комбинированного посевного агрегата за счет прибавки зеленой массы овса при внесении питательной влагоаккумулирующей композиции в почву, который составил 175276,17 руб. Срок окупаемости использования агрегата составляет 1,43 года. Экономия денежных затрат на топливо при использовании в КПА смесителя с установленными конструктивно-режимными параметрами составляет 40 руб/га.

ОБЩИЕ ВЫВОДЫ

1. Разработана схема комбинированного посевного агрегата и способ локального внесения жидких органоминеральных удобрений при посеве семян зерновых культур (овса) на высокогорных пастбищах для зелёного корма. Для приготовления жидких органоминеральных удобрений агрегат снабжен ленточно-винтовым смесителем. Способ защищен патентом РФ № 2557618.

2. Получена математическая модель движения частицы органоминерального наполнителя в ленточно-винтовом смесителе при установившемся режиме. Установлено, что абсолютная скорость частицы, перемещаемая наружной спиралью мешалки диаметром $D_n = 0,75$ м по цилиндрической части корпуса смесителя при увеличении частоты вращения мешалки n от 60 до 100 об/мин изменяется в интервале от 0,7 до 1,16 м/с.

3. Установлена взаимосвязь коэффициента вариации концентрации органоминерального наполнителя в пересчёте на сухое вещество V_c от конструктивно-режимных параметров смесителя и физико-механических свойств компонентов жидкого органоминерального удобрения. Выявлено: увеличение наполнения смесителя приводит к увеличению коэффициента вариации; при уровне наполнения смесителя $j = 0,75$ увеличение диаметра наружной спирали мешалки от 0,65 до 0,75 м приводит к увеличению коэффициента вариации от 6,3 до 9,6 %, а увеличение кинематической вязкости жидкого органоминерального удобрения от $1,1 \cdot 10^{-6}$ до $1,45 \cdot 10^{-6}$ м²/с приводит к снижению коэффициента вариации от 9,0 до 5,0 %.

4. Получена зависимость затрачиваемой мощности от конструктивно-режимных параметров смесителя и физико-механических свойств компонентов жидкого органоминерального удобрения. Установлено, что увеличение диаметра наружной спирали в интервале от 0,6 до 1,0 м и шага наружной спирали от 0,375 до 1,125 м при частоте вращения мешалки 60 об/мин приводят к увеличению мощности от 450 до 1550 Вт. Для получения качественного смешивания компонентов и снижения мощности целесообразно принять диаметр и шаг наружной спирали 0,75 м; диаметр и шаг внутренней спирали 0,4 м.

5. Экспериментально определены рациональные параметры смесителя при смешивании компонентов в диапазоне чисел Рейнольдса Re от 560300 до 933800: частота вращения мешалки $n = 60$ об/мин; уровень наполнения смесителя $j = 0,75$. При этом мощность, затрачиваемая на смешивание компонентов равна 691 Вт, а коэффициент вариации концентрации органоминерального наполнителя $V_c = 5,95$ %.

6. Годовой экономический эффект от использования на высокогорных пастбищах комбинированного посевного агрегата с ленточно-винтовым смесителем при посеве овса для зелёного корма, рассчитанный по результатам предварительных полевых испытаний способа внесения жидкого органоминерального удобрения и параметров опытного образца агрегата, составит 175276,17 руб на 1 машину при сроке окупаемости 1,43 года. Экономия денежных затрат на топливо при

использовании в комбинированном посевном агрегате смесителя с установленными конструктивно-режимными параметрами равна 40 руб/га.

Перспективы дальнейшей разработки темы

Дальнейшие работы по совершенствованию конструктивно-режимных параметров смесителя для приготовления жидких органоминеральных удобрений в составе комбинированного посевного агрегата могут иметь следующие направления: исследование влияния различного состава питательной влагоаккумулирующей композиции на качество и энергозатраты смешивания; совершенствование системы распределения и подачи жидкого органоминерального удобрения к сошникам; обоснование параметров и режимов работы комбинированного посевного агрегата, предназначенного для работы в различных почвенно-климатических условиях.

Основные положения диссертации опубликованы в следующих работах:

Публикации в изданиях, рекомендованных в ВАК РФ:

1. Сороченко, С. Ф. Полевые испытания технологии рекультивации песчаных почв / С.Ф. Сороченко, В.А. Дрюк, А.А. Ситников, Е.Н. Нефедов, М.Ю. Шишин, В.А. Куцый, А.А. Томаровский, **С.А. Суворов** // Вестник АГАУ.- 2014.-№2 (112). - С. 46 - 52.
2. Ситников, А.А. Технология борьбы с опустыниванием на Западе Монголии / А.А. Ситников, С.Ф. Сороченко, В.А. Дрюк, Е.Н. Нефедов, М.Ю. Шишин, В.А. Куцый, **С.А. Суворов**, Ю.Н. Камышов / Ползуновский вестник, Алт. гос. техн. ун-ет им. И.И. Ползунова. - Барнаул, Изд-во АлтГТУ, 2014.- ч.4, С.40-44.
3. **Суворов, С.А.** Экспериментальное обоснование параметров смесителя для приготовления питательной влагоаккумулирующей композиции / С.А. Суворов, С.Ф. Сороченко, В.А. Дрюк // Вестник АГАУ.- 2016.-№12 (146).- С. 144-150.
4. **Суворов, С.А.** Математическая модель движения питательной влагоаккумулирующей композиции в ленточно-винтовом смесителе / С.А. Суворов, С.Ф. Сороченко // Вестник АГАУ.- 2017.- №3 (149).- С. 155-160.

Патенты:

5. Способ рекультивации песчаных почв в зоне полупустынь и питательная влагоаккумулирующая композиция для его осуществления: пат. 2557618 Рос. Федерация: МПК С09К 17/00 / В.А. Куцый, А.А. Ситников, Е.Н. Нефедов, С.Ф. Сороченко, В.А. Дрюк, М.Ю. Шишин, А.А. Томаровский, **С.А. Суворов**; заявитель и патентообладатель ООО «Теллура-Бис», ФГБОУ ВПО «АлтГТУ им. И.И. Ползунова», ООО «МИП СХМ» - Заявка 2013150453/05; заявл. 12.11.2013; опубл. 27.07.2015.
6. Положительное решение о выдаче патента РФ на полезную модель от 06.02.2017. Комбинированный посевной агрегат / А.А. Ситников, С.Ф. Сороченко, В.А. Дрюк, **С.А. Суворов**, М.Ю. Шишин, С.Г. Ферапонтов, В.Б. Гуревич. - № 2016128630/13(044641); заявл. 13.07.2016.

Публикации в других изданиях:

7. Дрюк, В.А. Определение состава питательной влагоаккумулирующей композиции для технологии восстановления плодородия обедненных почв / В.А. Дрюк, **С.А. Суворов**, С.Ф. Сороченко и др. // Алтай – Гималаи: традиционные знания и инновации и развития горных и предгорных регионов Евразии: материалы

1-го российско-индийско-монгольского семинара. – Барнаул: Изд-во Фонда «Алтай-21век», 2015.-232с.

8. Уфимцев, Е.В. Сеялка с системой внесения питательной влагоаккумулирующей композиции / Е.В. Уфимцев, **С.А. Суворов**, В.А. Дрюк, С.Ф. Сороченко, // Горизонты образования. Научно-образовательный журнал АлтГТУ.- 2015.- Вып. 17. [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://edu.secna.ru/media/f/transport_sistem_tez_2015.pdf.

9. Дрюк, В.А. Технология восстановления обеднённых почв и агрегат для её восстановления / В.А. Дрюк, **С.А. Суворов**, С.Ф. Сороченко // Переход к зелёной экономике и устойчивому развитию в Алтайском крае: перспективы, механизмы, ключевые направления: материалы межрегиональной конференции с международным участием.- Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 2015. – 199 с.

10. Зыбайло, Р.А. Определение мощности, потребной на преодоление сил трения-скольжения лопастей о корпус насоса-дозатора зерновой сеялки с внесением питательной влагоаккумулирующей композиции / Р.А. Зыбайло, **С.А. Суворов**, Н.А. Макарова, С.Ф. Сороченко, В.А. Дрюк // Горизонты образования. Научно-образовательный журнал АлтГТУ.- 2016.- Вып. 18. [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://edu.secna.ru/media/f/transport_sistem_tez_2016.pdf.

11. **Суворов, С.А.** Математическая модель движения частицы в ленточно-винтовом смесителе / С.А. Суворов, С.Ф. Сороченко // Горизонты образования. Научно-образовательный журнал АлтГТУ.- 2016.- Вып. 18. [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://edu.secna.ru/media/f/transport_sistem_tez_2016.pdf.