

На правах рукописи

Жужин Максим Сергеевич

**РАЗРАБОТКА УСТРОЙСТВА ДОЗИРОВАННОЙ ПОДАЧИ
ПОРОШКООБРАЗНОГО ПРЕПАРАТА
ДЛЯ КОНСЕРВИРОВАНИЯ КОРМОВ**

Специальность: 05.20.01 – Технологии и средства механизации
сельского хозяйства

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание учёной степени
кандидата технических наук

Княгинино – 2017

Работа выполнена в государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Нижегородский государственный инженерно-экономический университет» (ГБОУ ВО НГИЭУ)

Научный руководитель: **Кучин Николай Николаевич**,
доктор сельскохозяйственных наук, профессор
кафедры «Технический сервис» Государственное
бюджетное образовательное учреждение высшего
образования «Нижегородский государственный
инженерно-экономический университет» (ГБОУ
ВО НГИЭУ)

Официальные оппоненты: **Дринча Василий Михайлович**,
доктор технических наук, профессор, генеральный
директор ООО Агроинженерный инновационно-
исследовательский центр «ИНАГРО»

Иванов Дмитрий Владимирович,
кандидат технических наук, доцент, руководитель
научно-инновационного учебного центра Феде-
ральное государственное бюджетное образова-
тельное учреждение высшего образования «Став-
ропольский государственный аграрный универси-
тет» (ФГБОУ ВО СтГАУ)

Ведущая организация: **Федеральное государственное бюджетное
научное учреждение «Всероссийский научно-
исследовательский институт кормов имени
В.Р. Вильямса» (ФГБНУ «ВНИИ кормов им.
В.Р. Вильямса»)**

Защита диссертации состоится «22» февраля 2018 года в 15 часов на заседа-
нии диссертационного совета Д220.043.14 на базе ФГБОУ ВО «Российский
государственный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева» по адресу:
127550, г. Москва, ул. Прянишникова, д. 19, тел. / факс: 8(499)976-17-14.

С диссертацией можно ознакомиться в Центральной научной библиотеке
имени Н. И. Железнова ФГБОУ ВО «Российский государственный универси-
тет – МСХА имени К.А. Тимирязева» и на сайте Университета:
<http://www.timacad.ru>

Автореферат разослан «___» _____ 2017 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета
д. с.- х. н. профессор

Т.П. Кобозева

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследований. За последние годы многочисленные сельскохозяйственные организации в России перешли на приготовление корма плющением сырого зернофуража и сохранение его в герметичных условиях. Неотъемлемой частью данной технологии является внесение различных форм химических или биологических препаратов, позволяющих обеспечить надежную сохранность такого корма. Существующие средства внесения консервантов не универсальны и предназначены для введения в корма в основном жидких или растворённых в воде препаратов. К тому же они достаточно дороги, не обеспечивают точного дозирования и не пригодны для внесения порошкообразных форм консервантов. В настоящее время решению данной проблемы не уделяется достаточного внимания, несмотря на то, что доказана высокая консервирующая способность порошкообразных препаратов и экономическая эффективность их использования. Поэтому разработка дозирующего устройства для внесения таких консервантов, обеспечивающего требуемую точность и равномерность внесения, является актуальной и своевременной.

Степень разработанности темы. Вопросами разработки конструкций дозирования сыпучих материалов занимались Иванов Ю.Г., Халанский В.М., Ахламов Ю.Д., Перекопский А. Н., Зыков А.В., Иванов Д.В., Агузаров А.М., Маркарян С.Е. и другие. Углублённый анализ существующих конструкций для дозирования сыпучих материалов показал, что в сельском хозяйстве дозаторы применяются чаще всего в транспортёрах для расфасовки продукции, внесения удобрений и других целей. В них используют храповые механизмы или клиноремные передачи. Данные дозаторы просты в управлении, но имеют сложную конструкцию, повышенную металлоёмкость и не отвечают требованиям, предъявляемым к точности дозирования консервантов кормов.

В технологии приготовления корма из зерна повышенной влажности чаще всего используют насосы-дозаторы центробежного типа для жидких

консервантов. Дозирующих устройств для внесения сыпучих консервантов до настоящего времени разработано не было.

Цели и задачи исследования. В связи с вышеуказанными предпосылками, целью диссертационной работы является усовершенствование технологии консервирования зернофуражных кормов путём разработки дозирующего устройства для внесения порошкообразного препарата в процессе плющения сырого фуражного зерна.

При реализации поставленной цели решались следующие задачи:

1. Изучить физико-механические свойства консервирующего материала, установить параметры и режимы, при которых обеспечивается его беспрепятственное истечение из накопительной ёмкости;
2. Обосновать устройство для дозированного внесения порошкообразного консерванта;
3. Исследовать процесс истечения порошкообразного материала и разработать математическую модель, учитывающую физико-механические свойства консерванта и конструкционные особенности устройства;
4. Создать опытный образец, пневматического дозатора и провести лабораторные испытания;
5. Провести технико-экономическую и энергетическую оценку использования предложенной конструкции дозирующего аппарата при закладке сырого фуражного зерна на хранение.

Научная новизна заключается в установлении закономерностей истечения порошкообразного консерванта в зависимости от физико-механических свойств материала и параметров дозатора. Новым является устройство дозирования порошкообразного препарата в технологической линии консервирования сырого фуражного зерна, защищенное патентом на изобретение № 2615581 от 05.04.2017 года.

Теоретическая и практическая значимость работы состоит в установлении зависимостей массы истечения порошкообразных препаратов от давления в пневмосистеме и времени истечения материала и в разработке

устройства дозированной подачи порошкообразного консерванта в сырое фуражное зерно при плющении, позволяющего равномерно распределять препарат в зерновой массе, что сокращает расходы средств на приготовление корма на 639 руб./т и энергетические затраты на 13 МДж/т.

Методы исследования. Теоретические исследования проведены в соответствии с общепринятыми методиками: исследования физико-механических свойств порошкообразного материала, определения производительности установки при его дозировании и погрешности. Обработка результатов исследований проводилась с использованием основ системного анализа, положений классической механики и математики, применением программ MicrosoftExcel, Maple и методов теории планирования эксперимента.

Основные положения и объекты, выносимые на защиту:

1. Конструкционное решение устройства дозирования порошкообразного консерванта для объективно существующих свойств материала;
2. Параметры и режимы работы устройства дозированного внесения порошкообразного консерванта в корм;
3. Математическая модель зависимости производительности дозатора от давления и времени истечения материала;
4. Опытный образец дозатора, обеспечивающий равномерность обработки корма консервантом;
5. Энергетическая и технико-экономическая оценка внедрения предложенной конструкции дозирующего аппарата при закладке сырого зерна на хранение.

Степень достоверности полученных результатов.

Достоверность результатов исследований подтверждена обработкой экспериментального материала методами математической статистики. Научные выводы согласованы с экспериментальными данными, подтверждены актами анализа сырого фуражного зерна и готового корма ФГУ ЦАС «Ниже-

городский», актом внедрения технологии в производство СПК «Березники» Гагинского района Нижегородской области.

Апробация работы. Основные положения исследований доложены и одобрены на 5-й Международной научно-технической конференции молодых ученых и специалистов «Инновации в сельском хозяйстве», ГНУ ВИЭСХ РАСХН (Москва, 2014 г.); II международной научно-практической конференции «Актуальные вопросы сельскохозяйственных наук в современных условиях развития страны» (Санкт-Петербург, 2015 г.); Международной научно-практической конференции «Инновационные направления в науке, технике, образовании» (Смоленск, 2016 г.); IX Международной научно-практической конференции «Актуальные направления научных исследований: от теории к практике» (Чебоксары, 2016 г.); а также на внутривузовских конференциях ГБОУ ВО НГИЭУ (2013 – 2016 гг.). Результаты исследований по теме работы также были представлены на Всероссийской молодежной научно-практической конференции «Региональные программы и проекты в области интеллектуальной собственности глазами молодежи» в рамках IX Международного форума «Интеллектуальная собственность – XXI век», ФГБОУ ВО РГАИС (Уфа, 2016 г.); VIII Конкурсе молодёжных инновационных команд РОСТ (Нижний Новгород, 2014 г.).

Публикации. Основные положения диссертации опубликованы в 16 печатных работах, в том числе в 5 изданиях, рекомендованном ВАК Министерства образования и науки РФ, патенте РФ № 2615581, № от 05.04.2017 года. Общий объём опубликованных работ составляет 4,9 п.л., из которых 4,1 п.л. принадлежит лично автору.

Структура и объём работы. Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы из 206 наименований, приложений. Основное содержание работы изложено на 143 страницах машинописного текста, включает 33 рисунка и 39 таблиц.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во «Введении» обоснована актуальность темы, показана научная новизна, теоретическая и практическая значимость выполняемой работы и изложены основные научные положения и результаты исследований, выносимые на защиту.

В первом разделе «Проблема сохранения сырого фуражного зерна с применением дозирующих устройств для внесения консервантов» проведён анализ существующих способов обеспечения сохранности продовольственного и фуражного зерна в зимний период. Несмотря на большое разнообразие этих способов, наиболее распространённым и наименее затратным в настоящее время является хранение зерна стандартной влажности (14 % и менее) и сырого плющеного фуражного зерна в анаэробных условиях с применением химических или биологических препаратов. Консерванты в жидком виде вносятся в зерновую массу в процессе закладки корма на хранение при помощи в основном центробежных насосов-дозаторов.

На рынке консервирующих препаратов имеется большое количество сухих консервантов (порошкообразных, гранулированных и др.), не уступающих по своим консервирующим свойствам жидким и имеющих более низкую стоимость. В качестве консерванта для приготовления кормов используется порошкообразная сера, эффективность применения которой доказана такими учёными, как Р.Ф. Мангутов, С.Г. Леушин, Л. А. Чаплыгина, Н.Н. Кучин и др. и подтверждена патентом на изобретение SU 1099937 А. Однако использование таких препаратов сдерживается отсутствием устройств для их дозированного внесения в корма. В связи с этим для сокращения затрат на приготовление и хранение корма необходима разработка специального устройства, способного вносить сухие формы консервантов и обеспечивать требуемую точность их распределения по консервируемой массе.

Выполненный анализ научно-технических и патентно-лицензионных источников информации позволил установить, что при использовании порошкообразных форм консерванта решить проблему можно проблемы возможно при по-

мощи пневматического транспортирования. Процесс перемещения материалов в этом случае осуществляется под действием аэродинамических сил, возникающих в воздушном потоке вследствие разности давлений в начале и в конце трубопровода.

Во втором разделе «Теория рабочего процесса устройства для дозирования порошкообразного консерванта» приведены физико-механические свойства порошкообразного препарата и представлена схема работы разрабатываемого устройства.

Порошкообразная сера, относящаяся к насыпным материалам, была выбрана для консервирования сырого фуражного зерна потому, что она отличается хорошими консервирующими свойствами и малой стоимостью. Одной из характеристик насыпных материалов является дисперсный состав. Нами было определено, что по данному признаку изучаемый нами материал относится к порошкообразным, максимальный размер частиц которого не превышает 0,5 мм.

Насыпную плотность материала определяли по методике, описанной в главе 3. По результатам измерений была выявлена насыпная плотность порошкообразного консерванта. Из проведённых расчётов насыпная плотность порошкообразного консерванта при высоте насыпного материала 10 см составила 0,78 г/см³, а средняя – 0,72 г/см³. По результатам выполненных расчётов используемый нами вид консерванта был отнесён к средним сыпучим материалам, диапазон значений насыпной плотности которых колеблется от 0,6 до 1,1 г/см³ (табл. 1).

Таблица 1 – Результаты определения насыпной плотности материала

Исследуемый материал	№ пробы	Высота насыпи, см	M ₁	M ₂	V, см ³	ρ_n , г/см ³	$\rho_{ср.н}$, г/см ³
Порошкообразная сера	1	5	32	83	86,7	0,58	0,72
	2	10	80	322	308,5	0,78	
	3	15	130	555	530,2	0,8	

По результатам измерений был построен график линейной функции для высоты бункера 55 см. (рис.1).

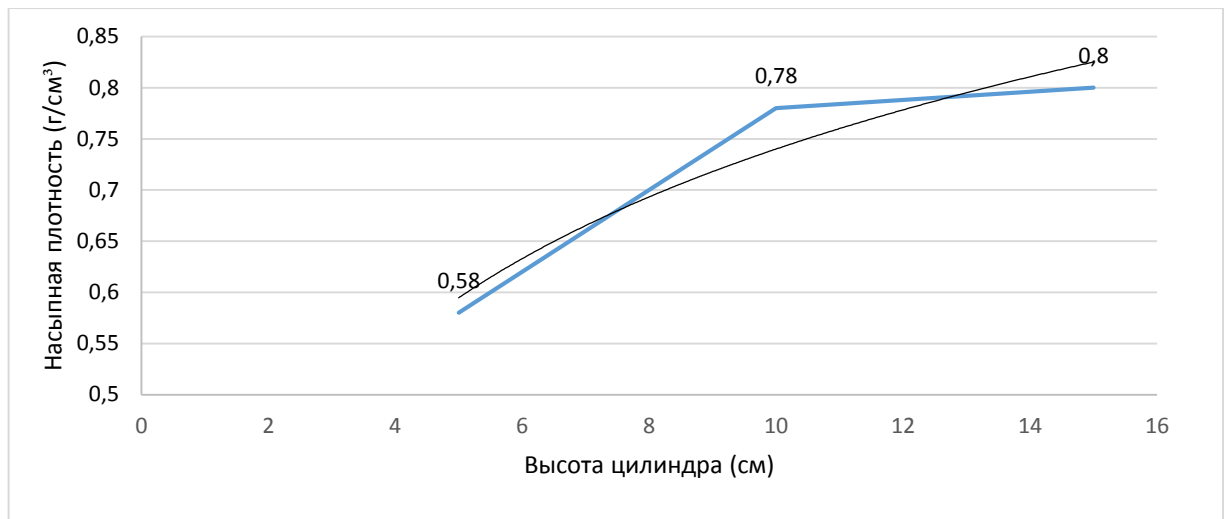


Рисунок 1 – Определение насыпной плотности

Кривая, изображённая на графике (рис. 1), с высокой степенью достоверности ($R^2=0.9$) описывается следующим уравнением регрессии:

$$y = 0,257 + 0,21 \ln x \quad (1)$$

Уравнение описывает взаимосвязь насыпной плотности порошкообразного консерванта (y) с высотой насыпи (x).

Сыпучесть материала определяли по углу естественного откоса. По проведённым замерам угол естественного откоса оказался равным $16,52^\circ$, а коэффициент внутреннего трения – $0,296$.

Наибольший сводообразующий размер определяли с помощью устройства, в котором, изменяя диаметр отверстия истечения перемещением ёмкости по рейке, следили за характером истечения материала.

В результате экспериментальных исследований было выявлено, что истечение материала отсутствовало (образовывался свод) при изменении диаметра отверстия истечения от 1 до 4 мм. При диаметре от 4 до 10 мм происходило кратковременное истечение, а затем образовывался свод, в результате чего истечение материала приостанавливалось. Для обеспечения непрерывного истечения было принято решение об использовании побудителя материала, воздействующего на сыпучий материал и способствующего истечению его из бункера.

Устройство дозированной подачи порошкообразного консерванта имеет следующий принцип действия (рис. 2).

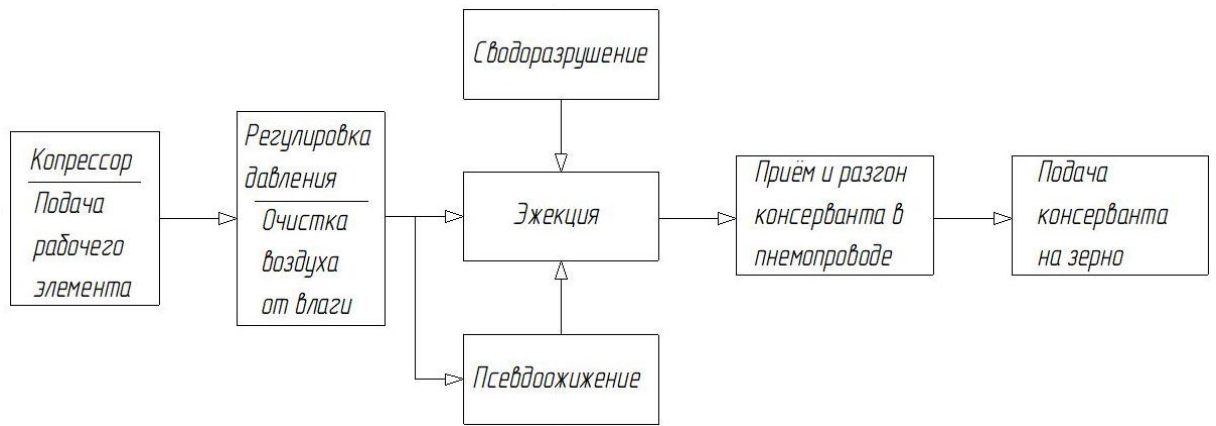


Рисунок 2 – Функциональная схема работы дозатора

Устройство дозированной подачи порошкообразного консерванта для консервирования кормов работает следующим образом (рис. 3).

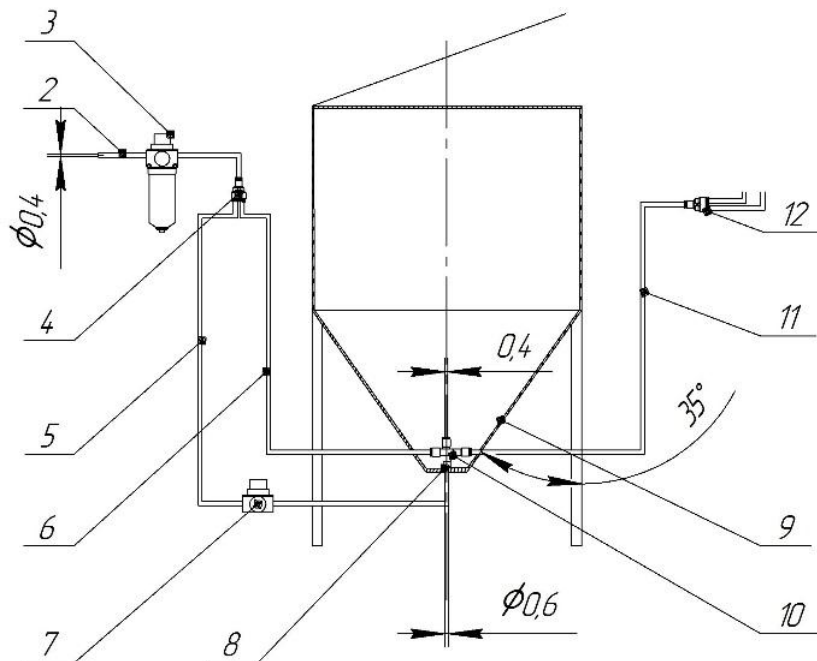


Рисунок 3 – Устройство дозированной подачи порошкообразного консерванта для консервирования кормов (обозначения в тексте).

От компрессора (на рисунке не показан) 1 сжатый воздух по трубопроводу 2 проходит через регулятор давления с влагоотделителем 3 и поступает в пневматический фитинг 4, где происходит разделение воздушного потока на две части, одна из которых направляется по воздухопроводу 5, а другая – по трубопроводу 6. Поступающий по воздухопроводу 5 воздух, проходя через регулятор давления 7 и через дыхательный клапан 8 попадает в ёмкость 9. Выходящие из дыхательного клапана 8 воздушные потоки направлены в сторону дна ёмкости. При этом донная часть ёмкости выполнена сужающей-

ся, что создаёт завихрения воздушных потоков, выполняющих интенсивное и равномерное перемешивание консерванта с воздухом. Далее эжектором 10 взвесь консерванта из ёмкости 9 засасывается в трубопровод 11 и по нему направляется к выходным каналам 12, через которые распыляется на плющевое зерно.

Для обеспечения требуемого давления в системе проведён расчёт внутреннего диаметра пневмопровода исходя из характеристик производительности компрессора А29.01, установленного на тракторе МТЗ 82.1, и длины линии. Проведёнными расчётами выявлено, что необходимый внутренний диаметр пневмопровода для поддержания требуемого давления должен составлять 3,8 мм. Аналогичный расчёт может быть выполнен и для любой другой марки тракторов, оборудованных компрессором.

Пропускная способность отверстия эжектора, обеспечивающего требуемую дозировку консерванта, определяется при расчёте из того, что непрерывное истечение сыпучего материала из выпускного отверстия обеспечивается при насыпной плотности материала $\rho = 720 \text{ кг/м}^3$, размере типичной частицы $a' = 0.14 \text{ мм}$ и диаметре выпускного отверстия $D = 4 \text{ мм}$.

График для определения необходимого диаметра отверстия (рис. 4) построен по рассчитанным показателям пропускной способности отверстия. Он показывает, что необходимая производительность в 20 кг/ч (максимальная производительность плющильной машины Murska 1000, 20 т/ч) будет осуществляться при диаметре выпускного отверстия 10.8 мм

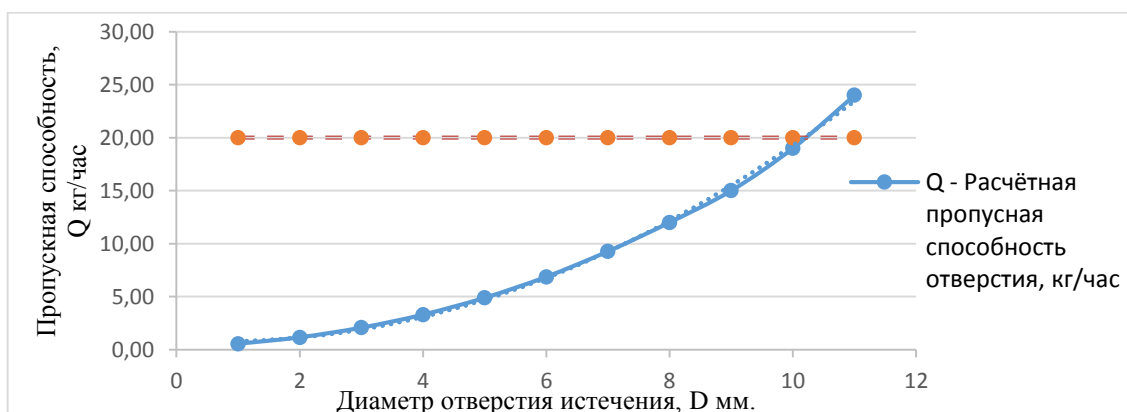


Рисунок 4 – Зависимость пропускной способности дозирующего устройства от диаметра отверстия истечения материала

Выявленная закономерность с высокой степенью достоверности ($R^2 > 0,99$) описывается следующим уравнением регрессии:

$$y = 0,2147x^2 - 0,311x + 0,9093 \quad (2)$$

Уравнение устанавливает взаимосвязь между диаметром выпускного отверстия бункера (x) и его пропускной способностью (y).

В третьем разделе *«Программа и методика экспериментальных исследований»* представлена общая программа и методика лабораторных и производственных экспериментальных исследований, а также методика обработки и оценки точности полученных результатов. При изучении физико-механических свойств консерванта определяли: насыпную плотность – по массе порошкообразного вещества в единице объёма, занятого этим материалом; сыпучесть – по углу естественного откоса; угол естественного откоса – по среднеарифметическому значению проведённых измерений.

Обработка полученных результатов проводилась на ЭВМ с помощью вычислительных программ Maple 17, MS Excel, Portable Statgraphics Centurion 15.2.11.0, Statistica 10.

В четвёртом разделе *«Разработка экспериментальной лабораторной установки»* приведены условия, обеспечивающие бесперебойное истечение консерванта, приведён расчёт энергетических показателей разных технологий консервирования и подготовки к скармливанию фуражного зерна.

Первым этапом разработки экспериментально-лабораторной установки было определение оптимальных параметров функционирования системы.

Были рассмотрены следующие комбинации установки всасывающего эжектора и побудителя истечения материала: всасывающий эжектор без побудителя материала; всасывающий эжектор с подводом трубок для побуждения материала распределённых по площади дна бункера; всасывающий эжектор внутри бункера с дыхательным клапаном в качестве побудителя материала.

При испытании всасывающего всасывающих эжекторов без побудителя материала и с подводом трёх трубок для побуждения материала было установлено, что работа приостанавливается: в первом случае из-за образования кратера, во втором – из-за частичного каналообразования. При использовании всасывающего эжектора внутри бункера и дыхательного клапана в качестве побудителя истечения материала было установлено, что материал оседает более равномерно и на большей площади. Поэтому данный тип всасывающего эжектора и был взят за основу для дальнейшей работы.

Следующим этапом исследования являлось определение параметров факела распыла порошкообразного консерванта. Устройство выводили на устойчивый режим работы и, обеспечивая равномерное покрытие обрабатываемой поверхности, проводили изучения таких характеристик, как:

1. Угол α (рис. 5 а) или угол распыла струи для обработки зерна по всей длине вальца. Его определяли измерением площади покрываемой консервантом поверхности и длины струи при нанесении консерванта на зерно;
2. Угол β (рис. 5 б) или угол наклона струи относительно горизонта определяли для обеспечения точного попадания струи на поверхность зерна.

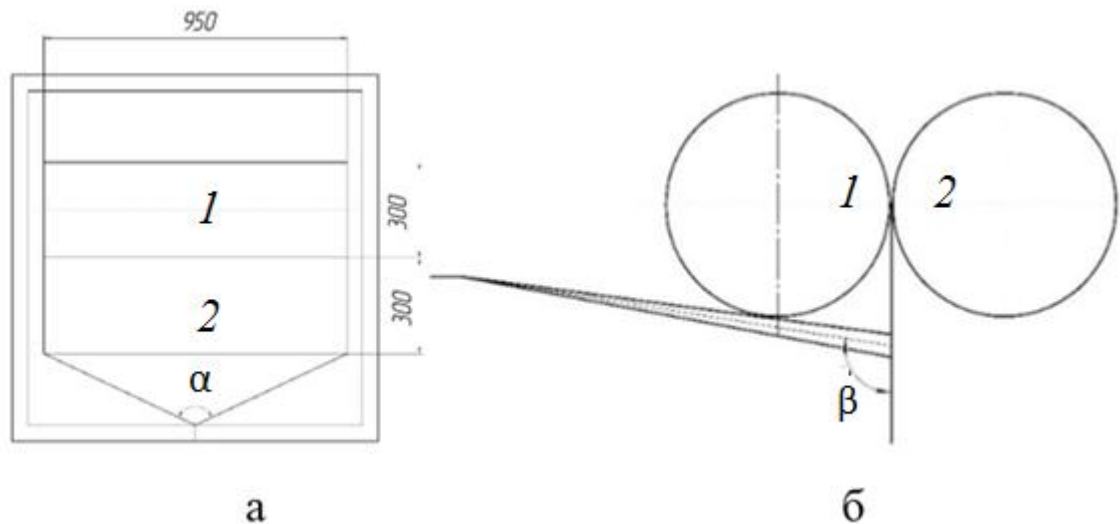


Рисунок 5 – Определение углов факела

а – определение угла α ; б – определение угла β ;

1,2 – вальцы плющильной машины

При выполнении поисковых экспериментов было установлено, что для использования распылителя порошкообразного консерванта на плющильной машине серии Murska 1000, длина валцов которой равняется 950 мм, диаметр валцов 300 мм, необходимый угол α должен составлять $129^{\circ}21'$, угол β – $97^{\circ}40'$, ширина струи – 950 мм и длина струи – 583 мм.

По результатам исследования характеристик факела было зафиксировано, что использование при работе устройства выходных каналов без применения распылителей невозможно в связи с недостаточным углом распыла $\alpha = 11^{\circ}19'$ (рис. 6).

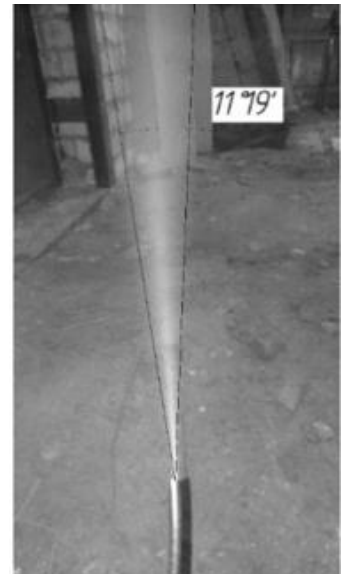


Рисунок 6 – Угол факела распыла, полученный при работе устройства

По итогам изучения технических характеристик распылителей, которые обеспечивают необходимое нам качество распыла консерванта в мелкодисперсном виде, были выбраны распылители фирмы TeeJet, применяемые в сельском хозяйстве для опрыскивания растений. К параметрам производительности плющильных машин для распыления порошкообразного консерванта оказались наиболее подходящими универсальные щелевые распылители.

На рисунке 7 представлена зависимость производительности устройства от давления и времени истечения материала с применением метода многофакторного эксперимента.

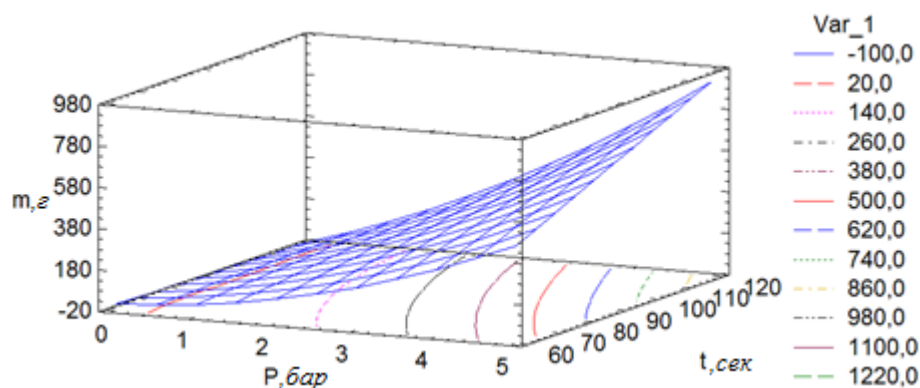


Рисунок 7 – Производительность в зависимости от давления и времени истечения материала

Также приведено уравнение регрессии.

$$m = 34,225 - 83,4767 \cdot P - 0,380278 \cdot t + 14,7653 \cdot P^2 + 1,63233 \cdot P \cdot t \quad (3)$$

Далее нами была рассмотрена возможность применения устройства дозированной подачи порошкообразного консерванта на плющильных машинах серии Murska при работе от компрессора типа А29.01 трактора МТЗ 82.1. По результатам проведённых расчётов была составлена таблица 2.

Таблица 2 – Возможность применения устройства дозированной подачи порошкообразного консерванта на плющильных машинах серии «Murska».

Модель	Максимальная производительность, т/ч	Необходимое давление, бар. (кПа)
Murska 220	1	0,41 (41)
Murska 350	5	1,1 (110)
Murska 700	10	2 (200)
Murska 1000	20	3,7 (370)

Данные, представленные в таблице, показывают, что устройство внесения порошкообразного консерванта может применяться на плющильных машинах Murska 220, Murska 350, Murska 700, Murska 1000 при их максимальной производительности. Использование данного устройства с машинами Murska большей производительности возможно при добавлении дополнительного компрессора и эжектора большей производительности.

По результатам практических опытов был проведён расчёт погрешности дозирования устройства при значениях времени 30, 60, 90, 120 секунд.

Из графика на рисунке 8 следует, что наибольшая погрешность дозирования проявляется при самом низком давлении (0.5 бар) в пневмопроводе. Расчётами определено, что при повышении давления пневмосистемы устройства погрешность дозирования уменьшается. Средняя погрешность дозирования консерванта новым устройством составила 3.7 %, что соответствует «Правилам безопасного механизированного применения биологических и химических консервантов кормов в кормопроизводстве АПК Российской Федерации», согласно которым «...отклонение от заданной дозы не должно превышать ± 10 %».

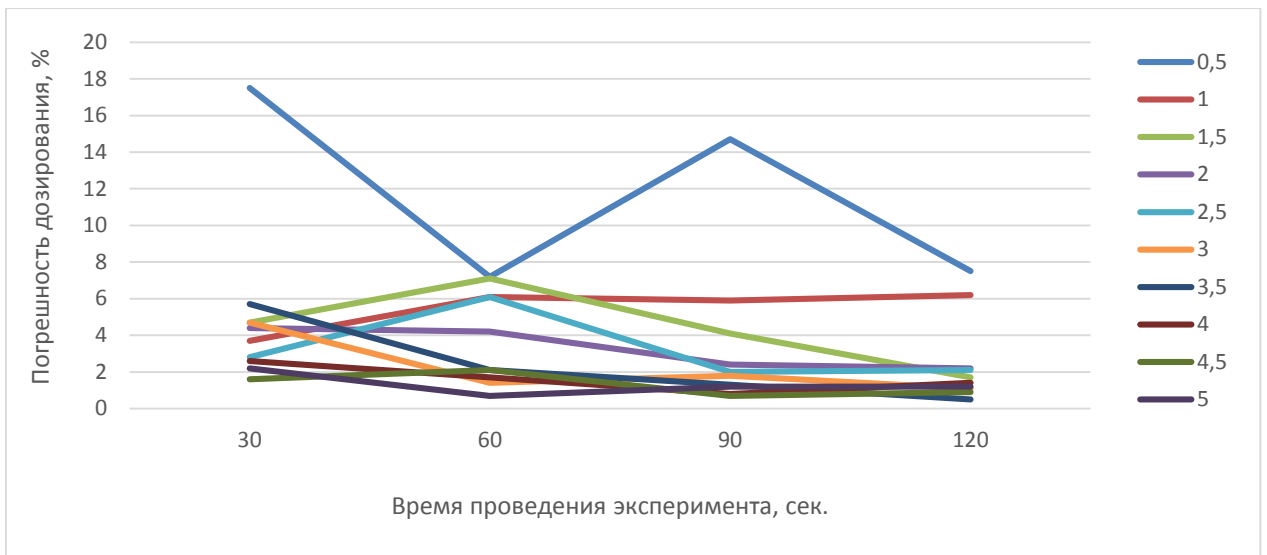


Рисунок 8 – Зависимости погрешности дозирования от времени работы установки

Аппроксимацию погрешности эксперимента от количества опытов проводили с использованием стандартного пакета MS Excel. Она представлена параболой, которая позволила более точно учесть изменения погрешностей и получить аналитическую зависимость.

На основе графического анализа полученных экспериментальных данных было сделано предположение, что аналитическое выражение функции зависимости соответствует логистической функции вида:

$$f(x) = \frac{abe^{cx}}{a + b(e^{cx} - 1)} \quad (4)$$

Далее с помощью программы Statistica 10 на основе метода Левенберга-Марквардта были даны оценки параметров a, b, c для анализируемых значений.

Графическое изображение полученной зависимости и экспериментальные данные приведены на рисунке 9.

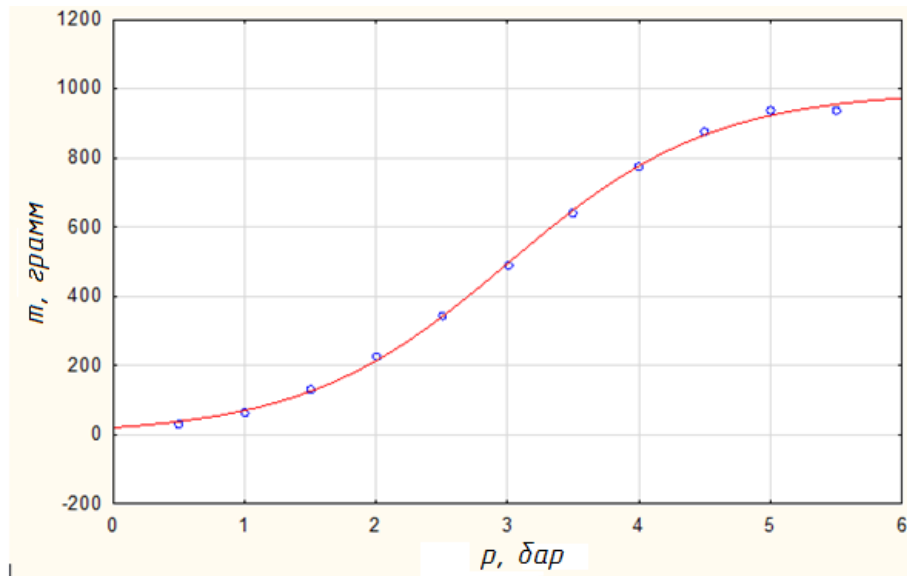


Рисунок 9 – Зависимости аппроксимированной и экспериментальной массы от давления для $t=120$ с

Полученные зависимости свидетельствуют о хорошем совпадении экспериментальных данных и функции $f(m,p)$ с коэффициентом детерминации, равном 99,93%:

$$y = \frac{993.3871 \cdot 21.1647 \cdot e^{1.2870 \cdot p}}{993.3871 + 21.1647(e^{1.287t} - 1)} \quad (5)$$

Результаты лабораторных исследований были проверены на предприятии СПК "Березники" Гагинского района Нижегородской области, где разработанный дозатор был включён в технологическую линию приготовления корма из зерна ячменя повышенной влажности методом его плющения и консервирования, что подтверждено актом внедрения.

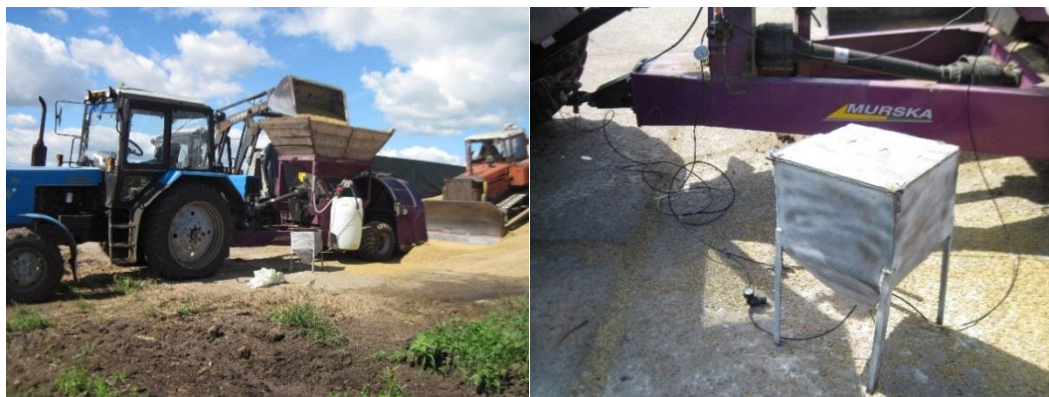


Рисунок 10 – Внесение порошкообразного консерванта в фуражное зерно

Проведённый расчёт энергетических показателей разных технологий консервирования и подготовки к скармливанию фуражного зерна (табл. 3) показал, что энергоэффективность разработанного дозатора в 1,6 раза выше дозатора, используемого для внесения жидкого консерванта.

Таблица 3 – Энергетические параметры технологий

Показатели		Ед. измерения	Способ подготовки			
			сушка		консервирование	
			естеств.	досуш.	пр. к-та	сега
			дробление		Плющение	
Уборочная площадь		га	204			
Урожайность: - зерна		т/га	2,7		3,0	
- сухого вещества			2,2		2,3	
Получено:	- корма	т	531,2		612,9	
	- сухого вещества	т	448,8		469,2	
	- обменной энергии	ГДж	6058,8		6282,6	
Затраты энергии на консервирование:	живого труда	ГДж	6,0	7,2	2,6	2,6
	прямые		117,1	335,8	75,1	75,5
	овеществлённые		1939,6	2865,0	2191,7	2183,3
	полные		2067,5	3313,1	2269,4	2261,4
Энергоёмкость машин		ГДж	1939,6	2865	2169,8	2169,3
Окупаемость затрачиваемой энергии энергетической питательностью корма		-	2,93	1,83	2,77	2,78
Удельные затраты энергии:	- на 1 т корма	МДж	3892,1	6237,0	3702,7	3689,7
	- на 1 т сухого вещества		4606,7	7382,1	4836,7	4819,7

Благодаря этому общие энергоёмкость и энергозатраты в новом варианте снижены на 0,3 %. Полные затраты энергии при консервировании сырого зерна порошкообразной серой в новом варианте оказались ниже на 8,0 ГДж, чем в варианте консервирования пропионовой кислотой в основном за счёт меньшей энергоёмкости нового дозирующего устройства и используемого консерванта. Они также снижались на 1051,7 ГДж в сравнение с досушиванием зерна до стандартной влажности.

Расчёт экономической эффективности предлагаемого дозатора показал целесообразность его применения в условиях сельскохозяйственного производства (табл. 4).

Таблица 4 – Эффективность разных способов консервирования и подготовки к скармливанию фуражного ячменя, руб./т сухого корма

Показатели		Единицы измерения	Способ подготовки				
			сушка		консервирование		
			естеств.	досуш.	пр. к-та	сера	
			дробление		плющение		
Энергетическая ценность 1 кг зерна		МДж	11,45		10,3		
Выход обменной энергии		ГДж	6082,24		6312,87		
Себестоимость 1 т зерна		руб.	5556,7	6178,6	4814,55		
Затраты на консервирование и подготовку к скармливанию:		руб./т	2295,35	2908,35	2588,5	2013,2	
технологические затраты		руб./т	2248,35		1993,7		
Всего затрат		тыс. руб.	4171,0	4827,0	4534,3	4184,7	
Общая себестоимость:	1 т зерна	натурального	руб.	7066,8	8178,25	7403,05	6827,75
		сухого	руб.	7852,05	9086,95	8225,6	7586,4
	1 ГДж обменной энергии		руб.	685,8	793,6	718,3	662,8

По сравнению с аналогичным способом хранения и подготовки к скармливанию сырого плющеного зерна с пропионовой кислотой затраты снижались на 639 руб./т или на 8,4 %. Общий размер сокращения затрат на консервирование всей партии зерна составил 352,6 тыс. рублей. Экономия связана со снижением на 254,56 руб. или на 11,3 % технологических затрат, приходящихся на подготовку зерна к скармливанию. При консервировании сырого зерна она обусловлена низкой стоимостью порошкообразной серы и устройства для её внесения.

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ

1. Консервирующий материал – порошкообразная сера – по дисперсному составу относится к порошкообразным, максимальный размер частиц которых не превышает 0,5 мм, по насыпной плотности (0,72 г/см³) – к среднесыпучим, по углу естественного откоса (16,52 град.) – к материалам, не имеющим или имеющим незначительное сцепление и к сводообразующим материалам при диаметре отверстия истечения до 4 мм.

2. Диаметр пневмопровода, обеспечивающий требуемое давление в пневмосистеме дозатора, не должен превышать 4 мм при использовании в

качестве энергетического средства компрессора типа А29.01 с трактора МТЗ 82.1. при его агрегатировании с плющильной машиной Murska 1000.

3. Отсутствие процесса сводообразования в дозаторе при использовании порошкообразного препарата достигается при установке побудителя материала и эжектора на дне бункера.

4. Математическая модель процесса дозирования консерванта, построенная на основе логистической функции, учитывающая его физико-механические свойства и конструкционные особенности устройства, с высокой степенью достоверности (коэффициент детерминации = 99,93 %), позволяет определять дозу внесения консерванта в зависимости от давления в пневмосистеме дозатора и времени обработки зерна.

5. Расчётная производительность дозатора достигала максимума (447,3 г/мин.) при внутреннем диаметре пневмопровода 4 мм и давлении в нём 5,5 Бар. Угол факела распыла порошкообразного консерванта при истечении из трубопровода дозирующего устройства без распылителя равен $11^{\circ}19'$, что соответствует параметрам установки для плющильной машины Murska 220. На плющилках серии Murska 350, 700 и 1000 необходимые углы факела распыла (соответственно 25° , 95° и 110°) обеспечиваются использованием распылителей TeeJet.

6. Разработанное устройство для внесения порошкообразного консерванта в фуражное зерно перед закладкой на хранение прошло производственную проверку и защищено патентом РФ № 2567315 на изобретение. Применение разработанного устройства позволяет сократить энергетические расходы на 13 МДж/т и на 8 ГДж при закладке 612,9 т корма в сравнении с консервированием его пропионовой кислотой и использованием стандартного центробежного насоса-дозатора.

7. Технико-экономическая оценка внедрения предложенной конструкции дозирующего аппарата при закладке 612,9 т сырого фуражного зерна на хранение в СПК "Березники" Гагинского района Нижегородской области по-

казала сокращение затрат на 352,6 тыс. руб. при его порошкообразной серой в сравнении с обработкой пропионовой кислотой.

Основные положения диссертации опубликованы в следующих работах:

Публикации в рецензируемых изданиях

1. Жужин М.С. Проблемы дозирования сыпучих консервантов / Н.Н. Кучин, М.С. Жужин, А.Н. Смирнов / Вестник НГИЭИ. № 6 (61). 2016. С.60 - 65.
2. Жужин М.С. Экономическая эффективность закладки на хранение зерна с использованием дозатора порошкообразного консерванта / М.С. Жужин, Н.Н. Кучин / Вестник НГИЭИ. № 12 (67). 2016. С.65 - 71.
3. Жужин М.С. Математическое моделирование работы дозирующего устройства для консервирования сырого зерна / М.С. Жужин, А.П. Мансуров, С.Н. Стребуляев / Вестник Мичуринского государственного аграрного университета № 1. 2017. С. 155-163.
4. Жужин М.С. Энергетическая эффективность использования устройства дозированной подачи порошкообразного консерванта при плющении сырого зерна ячменя / Жужин М.С., Кучин Н.Н./ Вестник федерального государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Московский государственный агроинженерный университет имени В.П. Горячкина» №3(79). 2017. С. 31-38.
5. Жужин М.С. Разработка устройства для внесения порошкообразных консервантов в корма и его эффективность / Жужин М.С., Мансуров А.П. / Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии № 2(38). 2017. С. 173-177.

Патенты РФ

6. Патент № 2615581 РФ. МПК А23N 17/00. Устройство дозированной подачи порошкообразного консерванта для консервирования кормов / М.С. Жужин, Н.Н. Кучин. - № 2016105197; Заяв. 16.02.2016; Опубл. 05.04.2017, Бюл. № 10

Публикации в других изданиях

7. Жужин, М.С. Проблема сохранения фуражного зерна повышенной влажности / Инновации в сельском хозяйстве / Сборник научных трудов по итогам 5-й Международной научно-технической конференции молодых ученых и специалистов - №5 (10). – 2014. – С.159 – 162.
8. Жужин М.С. Обоснование необходимости разработки дозатора для внесения сухого консерванта в фуражное зерно при закладке на хранение / Про-

блемы и перспективы развития аграрной экономики: материалы Международной научно-практической конференции. – Княгинино: НГИЭИ. 2015. С. 155 - 160.

9. Жужин М.С. Обоснование экономической эффективности внесения в плющенное фуражное зерно порошкообразной серы в качестве консерванта / Актуальные вопросы сельскохозяйственных наук в современных условиях развития страны / Сборник научных трудов по итогам международной научно-практической конференции. № 2. Санкт-Петербург, 2015. С. 78 – 80.

10. Жужин М.С. Анализ конструкций и классификация средств для дозирования сыпучих материалов / Информационные и инфокоммуникационные технологии – реалии, возможности, перспективы: материалы Всероссийской научно-практической конференции. – Княгинино: НГИЭУ, 2015. – С.182 - 183.

11. Жужин М.С. Обоснование необходимости разработки дозатора для внесения в плющенное фуражное зерно порошкообразной серы в качестве консерванта / Вестник НГИЭИ. № 4 (47). 2015. С.47-50

12. Жужин М.С. Результат применения установки пневматического дозирования консерванта при плющении зерна в производственных условиях / Социально-экономические проблемы развития муниципальных образований: материалы XX Международной научно-практической конференции. Том I. – Княгинино: НГИЭУ, 2016. – С. 114-116.

13. Жужин М.С. Возможности сохранения фуражного зерна повышенной влажности в современных условиях / Основные направления развития техники и технологии в АПК : материалы и доклады VII Всероссийской научно-практической конференции. – Княгинино : НГИЭУ, 2016. С. 218-220

14. Жужин М.С. Технология консервирования сырого фуражного зерна порошкообразной серой в условиях производства / Инновационные направления в науке, технике, образовании. Сборник научных трудов по материалам Международной научно-практической конференции 30 июня 2016 г. В 2-х частях. Часть I. Смоленск: ООО «Новаленсо», 2016. – С. 82-88.

15. Жужин М. С. Использование устройства внесения порошкообразного консерванта в зерно при консервировании плющеного ячменя повышенной влажности [Текст] / М. С. Жужин // Актуальные направления научных исследований: от теории к практике: материалы IX Междунар. науч.–практ. конф. (Чебоксары, 9 сент. 2016 г.) / редкол.: О. Н. Широков [и др.]. — Чебоксары: ЦНС «Интерактив плюс», 2016. — № 3 (9). — ISSN 2412-0510.

16. Жужин М.С. Экономическая эффективность использования дозатора для обработки сырого зерна порошкообразным консервантом /М.С. Жужин, Н.Н. Кучин // 13th International Multidisciplinary Scientific Conference EUROBRAND 18-20 November 2016, Kragujevac, Serbia, S. 75-83