

*На правах рукописи*



**Тетерин Владимир Сергеевич**

**УСОВЕРШЕНСТВОВАННЫЙ ПРОЦЕСС И ПРЕСС-ПОДБОРЩИК ДЛЯ  
ЗАГОТОВКИ СТЕБЕЛЬЧАТЫХ КОРМОВ С ОБРАБОТКОЙ ГУМАТАМИ**

Специальность 05.20.01- Технологии и средства механизации сельского  
хозяйства

**АВТОРЕФЕРАТ**

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Рязань 2016

Работа выполнена в федерального государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева».

**Научный руководитель:** доктор технических наук доцент  
**Костенко Михаил Юрьевич**

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

**Иванов Дмитрий Владимирович,**  
кандидат технических наук, доцент,  
ФГБОУ ВО «Ставропольский государственный  
аграрный университет», начальник отдела НИОКР и  
трансфера технологий

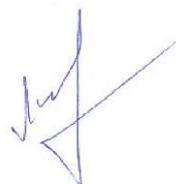
**Ведущая организация:** **Федеральное государственное бюджетное научное  
учреждение «Всероссийский научно-  
исследовательский институт механизации  
сельского хозяйства» (ФГБНУ ВИМ)**

Защита диссертации состоится «28» июня 2016 г. в 10:00 часов на заседании диссертационного совета Д220.057.03, созданного на базе федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева» по адресу: 390044, Рязанская область, г. Рязань, ул. Костычева, д.1, зал заседаний диссертационных советов.

С диссертацией и авторефератом можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВО «Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева», на сайте ФГБОУ ВО РГАТУ: <http://www.rgatu.ru> и сайте Минобрнауки РФ <http://vak3.ed.gov.ru>

Автореферат разослан «20» мая 2016 г.

Ученый секретарь диссертационного совета  
кандидат технических наук, доцент Шемякин А.В.



## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

### **Актуальность темы.**

В настоящее время в Российской Федерации действует федеральная целевая программа, направленная на развитие агропромышленного комплекса: «Государственная программа развития сельского хозяйства и регулирование рынков сельскохозяйственной продукции, сырья и продовольствия на 2013-2020 годы». Данная государственная программа направлена, в частности, на повышение сохранности и улучшение качества кормов в животноводстве.

Одним из перспективных направлений повышения сохранности стебельчатых кормов является создание условий для снижения микробиологической активности внутри рулонов прессованного сена. Обеспечение равномерной плотности в объёме прессованного сена с совокупности с внесением консервантов способствует сохранению качества кормов при длительном хранении.

Работа выполнена в соответствии с основными направлениями научно-исследовательской работы Рязанского государственного агротехнологического университета на 2011 – 2015 гг. по теме "Совершенствование технологий, разработка и повышение надежности технических средств возделывания, уборки, транспортировки и хранения сельскохозяйственных культур в условиях ЦФО РФ" (№ гос. рег. 012011744320).

Таким образом, совершенствование технологического процесса и пресс-подборщика для заготовки стебельчатых кормов с обработкой экологически безопасными консервантами, в частности, гуматами, является актуальной народнохозяйственной задачей.

**Степень разработанности темы.** Большой вклад в изучение сохранности прессованного сена внесли отечественные учёные. Изучению вопросов физико-механических свойств стебельчатых кормов и их прессования посвящены труды Алферова С.А., Андреева Н.Г., Виноградова В.И., Вольфа И.И., Горячкина В.П., Гутьяра Е.М., Долгова И.Н., Дутова В.Д., Жамьянова Ч.Д., Ифраимова Д.Н., Крагельского И.В., Майковского И.А., Некрашевича В.Ф., Особова В.И., Пустыгина М.А., Раздорского В.Ф., Рожевича Р.Ю., Сахарова И.В., Соловьева А.М., Тулинова А.А., Храпача Е.И., Чапкевича А.А и др. Вопросами заготовки кормов с применением химических консервантов занимались Бышов Н.В., Дринча В.М., Иванов Д.В., Костенко М.Ю., Успенский И.А. и др. Вопросами получения и применения гуматов занимались Измайлов А.Ю., Марченко О.С., Резник Е.И., Сорокин К.Н. и др. Тем не менее, ряд вопросов, касающихся совершенствования заготовки стебельчатых кормов, требует дальнейшего рассмотрения. В частности, более подробного изучения требуют вопросы распределения плотности внутри рулона, как в радиальном направлении, так и по ширине. Также значительный интерес представляют исследования новых экологически чистых консервирующих веществ для обеспечения сохранности сена и устройств для их внесения в процессе прессования. Актуальность и практическая значимость данной тематики обусловили выбор темы, постановку цели, задач и структуру диссертационного исследования.

**Цель исследования** – повышение сохранности прессованного сена совершенствованием процесса и пресс-подборщика для заготовки стебельчатых кормов с обработкой гуматами.

**Объекты исследований** – технологический процесс и пресс-подборщик для заготовки стебельчатых кормов, в частности, прессованного сена, с обработкой гуматами.

**Предмет исследований** – закономерности технологического процесса заготовки стебельчатых кормов, в частности, прессованного сена, с обработкой гуматами.

**Научную новизну** работы составляют:

- усовершенствованный технологический процесс заготовки стебельчатых кормов, содержащий технологические приёмы разравнивания валка перед прессованием и его обработку гуматами;

- теоретическое и экспериментальное обоснование конструктивно-технологической схемы пресс-подборщика для заготовки стебельчатых кормов, параметров и режимов работы его разравнивающего устройства и установки для внесения гуматов.

Новизна технических решений подтверждена патентами РФ №147211; №157147.

**Практическую значимость работы** составляют: теоретически и экспериментально обоснованные конструктивно-технологические схемы разравнивающего устройства и установки для внесения гуматов пресс-подборщика для заготовки стебельчатых кормов, их параметры и режимы работы; результаты оценки сохранности прессованного сена, заготовленного с применением усовершенствованного процесса и пресс-подборщика.

**Методы исследований.** Методологическую основу исследований составили методы теоретической механики, сопротивления материалов, математического и компьютерного моделирования, математической статистики и сравнительного эксперимента. Обработка результатов экспериментальных исследований проводилась на ЭВМ с использованием программ Statistica, MathCad, Excel. Оценка объектов исследований при проведении полевых и лабораторно-полевых испытаний производилась согласно ГОСТ 20915-2011, ГОСТ Р 52778-2007, ГОСТ 27262-87, ГОСТ 4808-87, ГОСТ 13496.17-95, ГОСТ 13496.4-93, ГОСТ 13496.2-91, ГОСТ 27548-97. Экономическая эффективность предлагаемых разработок определялась по общепринятой методике для научно-исследовательских работ и новой техники.

**Положения, выносимые на защиту:**

- усовершенствованный технологический процесс заготовки стебельчатых кормов, содержащий технологические приёмы разравнивания валка перед прессованием и его обработку гуматами;

- результаты теоретического и экспериментального обоснования конструктивно-технологической схемы пресс-подборщика для заготовки стебельчатых кормов, параметров и режимов работы его разравнивающего устройства и установки для внесения гуматов.

- результаты оценки сохранности прессованного сена, заготовленного с применением усовершенствованного процесса и пресс-подборщика, и технико-экономической эффективности предлагаемых решений.

**Достоверность результатов исследований.** При проведении экспериментальных исследований использовались современные методики, приборы и установки. Результаты теоретических исследований в достаточной мере согласуются с полученными экспериментальными данными. Результаты, полученные в ходе выполнения работы, согласуются с результатами, опубликованными в независимых источниках по тематике исследования, и прошли широкую апробацию в печати, на международных и всероссийских научно-практических конференциях.

**Реализация результатов исследований.** Производственные испытания показали высокую эффективность применения технологических приёмов разравнивания валка перед прессованием и его обработки гуматами – получено сено 1 класса. Усовершенствованный технологический процесс заготовки стебельчатых кормов внедрен в производственную деятельность ЗАО «СХП Семёновское» Ступинского района Московской области.

**Вклад автора** в решение научно-технических задач состоит в совершенствовании технологического процесса заготовки стебельчатых кормов, разработке конструктивно-технологической схемы пресс-подборщика для заготовки стебельчатых кормов, проведении теоретических и экспериментальных исследований, обработке и интерпретации полученных результатов, написании научных статей и оформлении патентных заявок.

**Апробация результатов.** Основные положения диссертации докладывались на второй и третьей региональных конференциях молодых учёных «Инновационные методы решения научных и технологических задач Рязанской области» ГБОУ ВПО РГРТУ (2014 – 2015 годы); на восьмом Всероссийском конкурсе достижений талантливой молодёжи «Национальное Достояние России» (Непецино, 2014 г.); на Всероссийском конкурсе на лучшую научную работу среди студентов, аспирантов и молодых учёных вузов Минсельхоза РФ в номинации «Технические науки» (I этап – ФГБОУ ВПО Рязанский ГАТУ, II этап – ФГБОУ ВПО Воронежский ГАУ имени императора Петра I; III (заключительный) этап ФГБОУ ВПО Ставропольский ГАУ, 2015 г.).

**Публикации.** По теме диссертации опубликовано 14 печатных работ объемом 4,85 п. л., в том числе авторских – 4 п. л., из которых 4 – в изданиях, рекомендованных ВАК, 2 патента РФ на полезную модель.

**Структура и объем диссертации.** Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения, списка использованных источников из 128 наименований и приложений. Работа изложена на 157 страницах, содержит включает 30 рисунков и 14 таблиц, 5 приложений.

## **ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ**

*Во введении* обоснована актуальность темы диссертации, сформулированы цель исследования, научная новизна и основные положения, выносимые на защиту.

*В первой главе* – «Анализ технологий и средств заготовки стебельчатых кормов» – проанализированы технологии и технические средства, применяемые при

заготовке стебельчатых кормов, в частности, прессованного сена; рассмотрены вопросы применения гуматов при кормлении животных; проведен анализ выполненных исследований процесса заготовки стебельчатых кормов. На основании обобщения и анализа научно-производственного опыта сформулированы задачи исследований:

- усовершенствовать процесс заготовки стебельчатых кормов для повышения сохранности прессованного сена;

- теоретически и экспериментально обосновать конструктивно-технологическую схему пресс-подборщика для заготовки стебельчатых кормов, параметры и режимы работы его разравнивающего устройства и устройства для внесения гуматов;

- провести производственные испытания усовершенствованного процесса и пресс-подборщика для заготовки стебельчатых кормов с обработкой гуматами, с оценкой сохранности прессованного сена в рулонах;

- провести оценку технико-экономической эффективности усовершенствованного процесса и пресс-подборщика для заготовки стебельчатых кормов с обработкой гуматами.

*Во второй главе «Теоретические исследования совершенствования процесса и пресс-подборщика для заготовки стебельчатых кормов с обработкой гуматами»* теоретически и экспериментально обоснована конструктивно-технологическая схема пресс-подборщика для заготовки стебельчатых кормов, параметры и режимы работы его разравнивающего устройства и установки для внесения гуматов.

Для совершенствования процесса заготовки стебельчатых кормов были проведены теоретических исследований распределения плотности стебельчатых кормов внутри рулона. Рассмотрев процесс формирования рулона в пресс-подборщике с прессовальной камерой постоянного объёма установлено, что плотность прессования возрастает пропорционально количеству поступившего материала дифференциальное уравнение закона изменения плотности прессования сена внутри рулона. Закон изменения плотности сена в радиальном направлении внутри рулона:

$$\gamma = \frac{b}{a} e^{ar_p} + \frac{kt^2}{2} + \gamma_0 \quad (1)$$

где  $\gamma$  – плотность сена, кг/м<sup>3</sup>;

$r_p$  – текущий радиус, м;

$t$  – время процесса прессования, с.

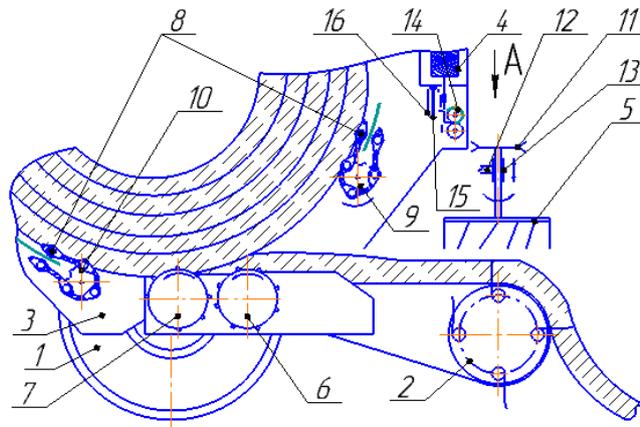
$k$  – коэффициент уплотнения, кг/(м<sup>3</sup>с<sup>2</sup>);

$a$  – удельный коэффициент, кг/м<sup>4</sup>;

$b$  – размерный коэффициент, 1/м.

Анализируя распределение плотности внутри рулона, очевидно, что плотность возрастает пропорционально квадрату времени и распределяется от периферии к центру рулона по экспоненциальной зависимости. Полученное выражение свидетельствует о том, что в течение короткого промежутка времени на заключительной стадии прессования плотность прессования будет существенно увеличиваться. Также установлено высокая неравномерность плотности по ширине рулона.

Для повышения равномерности подаваемого валка нами разработано разравнивающее устройство, монтируемое на пресс-подборщике (патент №157147), которое представлено на рисунке.



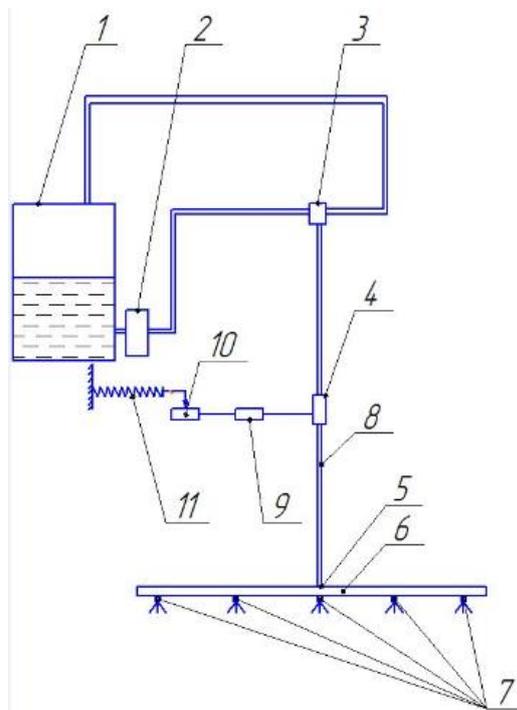
1 – колёсный ход, 2 – подборщик, 3 – прессовальная камера, 4 – обвязывающий аппарат, 5 – дисковое горизонтальное разравнивающее устройство, 6,7 – прессующее устройство (где 6 – передний опорный валец, 7 – задний опорный валец) 8 – цепочно-планчатый транспортёр, 9 – ведущий вал, 10 – ведомый вал, 11 – ремённая передача в виде «восьмёрки», 12 – кронштейн, 13 – регулировочное устройство высоты, 14 – гидромотор, 15 – поводок, 16 – нож.

Рисунок 1 – Схема пресс-подборщика с устройством для разравнивания подаваемого валка сена

Разравнивающее устройство установлено над цепочно-планчатым транспортера. Диски разравнивающего устройства связаны между собой ремённой передачей в виде «восьмёрки». Диски закреплены на кронштейне с регулировочным устройством высоты. При движении агрегата вдоль валка и вращении механизмов пресса подборщик подхватывает валок и подает его в пространство между дисковым разравнивающим устройством и цепочно-планчатым транспортером. Дисковое разравнивающее устройство растаскивает сено по ширине захвата подборщика и уплотняет за счёт различных скоростей сена и наклонных пальцев, что способствует равномерному распределению стебельчатой массы по ширине захвата и вдоль движения валка.

Применение данного рулонного пресс-подборщика позволяет обеспечить высокую равномерность плотности прессования по объёму рулона, что повышает сохранность сена.

Однако, даже обеспечив высокую равномерность сена в рулоне нельзя гарантировать его полную сохранность, так как в процессе хранения на сено влияют климатические факторы и условия хранения. Поэтому для обеспечения сохранности прессованного сена нами предложено применять гуматы. Для внесения гуматов при прессовании рулонов нами предложена установка, представленная на рисунке 2 (патент №2554770).



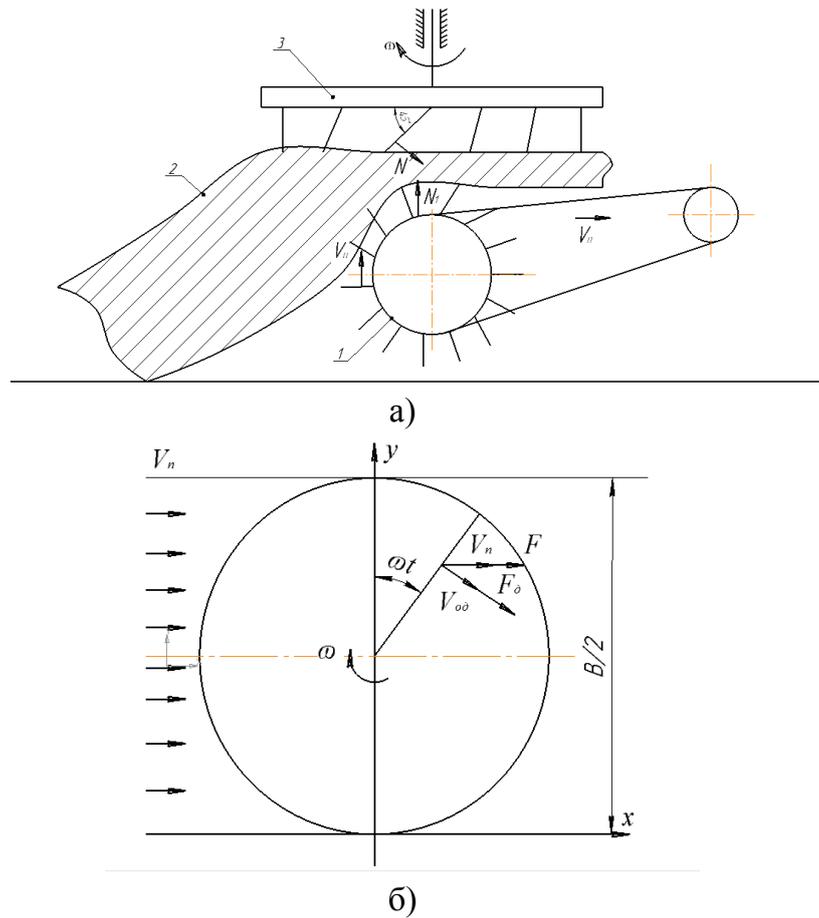
1 – ёмкость, 2 – насос постоянного давления, 3 – предохранительный клапан, 4 – шаровой кран с электроприводом, 5 – распределительное устройство, 6 – штанга, 7 – форсунки, 8 – трубопровод, 9 – блок управления, 10 – датчик плотности прессования, 11 – пружина механизма прессования.

Рисунок 2– Схема устройства для внесения гуматов при прессовании

Установка для внесения гуматов в растительную массу монтируется на корпус рулонного пресс-подборщика. При заезде пресс-подборщика на валок, сено поступает на подборщика, одновременно с этим происходит включение насоса постоянного давления, который подаёт гуматы через систему трубопроводов к предохранительному клапану, который дополнительно выравнивает давление и сбрасывает излишки гуматов в ёмкость при ограничении его расхода. Регулирование подачи гуматов осуществляется с помощью шарового крана с электроприводом, который электрически связан с блоком управления и датчиком плотности прессования, шарнирно закреплённым на конце пружины механизма прессования, от шарового крана с электроприводом гуматы подаются к распределительному устройству, выполненному в виде штанги с форсунками, где и происходит распределение гуматов на движущее сено.

По мере уплотнения рулона пружина механизма прессования изменяет свою длину, тем самым воздействует на датчик, который изменяет сопротивление, воздействуя на блок управления шарового крана с электроприводом. В результате шаровой кран с электроприводом уменьшает подачу гуматов по мере увеличения степени прессования. Таким образом, в зонах с низкой степенью уплотнения норма внесения гуматов больше, а в зонах высокой степени уплотнения меньше, что обеспечивает высокое качество сохранности сена при меньшем расходе гуматов.

Для разравнивания валка сена над подборщиком установлены вращающиеся диски с наклонными пальцами. Для улучшения распределения валка диски над подборщиком выдвинуты вперёд, образуя сходящий зазор.



1 – подборщик; 2 – валок сена; 3 – разравнивающие диски;

Рисунок 3 – Схема к определению закона движения стебельчатых частиц при разравнивании валка

Учитывая, что подборщик вращается равномерно, движение валка осуществляется с постоянной скоростью  $V_n$ . Разравнивающие диски, вращающиеся над движущимся валком, будут вызывать относительное движение стебельчатых частиц. Рассмотрим движение стебельчатых частиц валка в подвижной системе координат (поступательное движение со скоростью  $V_n$ ).

Запишем дифференциальные уравнения движения частиц:

$$\begin{cases} m_c \frac{d^2 x}{dt^2} = F_n + F_0 \cos(\omega t) \\ m_c \frac{d^2 y}{dt^2} = -F_0 \sin(\omega t) \end{cases} \quad (2)$$

где  $F_n$  – усилие воздействия подборщика на валок сена, Н;

$F_0$  – усилие воздействие разравнивающих дисков на валок сена, Н;

$\omega$  – частота вращения дисков,  $\text{с}^{-1}$ ;

Проинтегрировав и подставив пределы интегрирования, получим перемещения стебельчатых частиц:

$$\begin{cases} x = x_0 + V_{0x} \cdot t + \frac{1}{m_c} \cdot f_{\text{вн}} \cdot \left[ \left( \frac{F_{\text{упр}}}{n_n} + P_{\epsilon} \right) \cdot \frac{t^2}{2} - \frac{F_{\text{упр}}}{n_n \cdot \omega^2} \cdot \cos(\omega t) + \frac{F_{\text{упр}}}{n_n \cdot \omega^2} \right] \\ y = y_0 + V_{0y} \cdot t + \frac{1}{m_c} \cdot f_{\text{вн}} \cdot \frac{F_{\text{упр}}}{n_n \cdot \omega} \cdot \left( \frac{1}{\omega} \sin(\omega t) - t \right) \end{cases} \quad (3)$$

где  $m_c$  – масса стебельчатых частиц, приходящихся на один палец разравнивающего диска, кг;

$x_0, y_0$  – координаты первоначального положения стебельчатых частиц, м;

$x, y$  – конечные координаты положения стебельчатых частиц после взаимодействия с разравнивающим диском, м;

$f_{\text{вн}}$  – коэффициент внутреннего трения стебельчатых частиц, Н;

$F_{\text{упр}}$  – сила упругости сена, Н;

$P_{\epsilon}$  – вес стебельчатых частиц в зоне разравнивания диска, Н;

$n_n$  – число пальцев разравнивающих дисков, шт;

$t$  – время воздействия разравнивающих дисков на стебельчатые частицы, с;

$V_{0x}, V_{0y}$  – начальная скорость стебельчатых частиц перед разравниванием, м/с

На основании полученного выражения было проведено исследование траекторий движения стебельчатых частиц с помощью программы MathCad. В качестве исходных параметров задавались: степень уплотнения (уменьшение высоты валка при разравнивании), коэффициент трения, угловая скорость разравнивающих дисков, количество пальцев, скорость движения валка сена. В результате проведённых исследований получен график траекторий движения стебельчатых частиц при работе разравнивающих дисков (рисунок 4). Также установлено, что на смещение стебельчатых частиц оказывают существенное влияние количество пальцев разравнивающих дисков и расстояние между ними, угловая скорость разравнивающих дисков, и величина уплотнения валка сена.

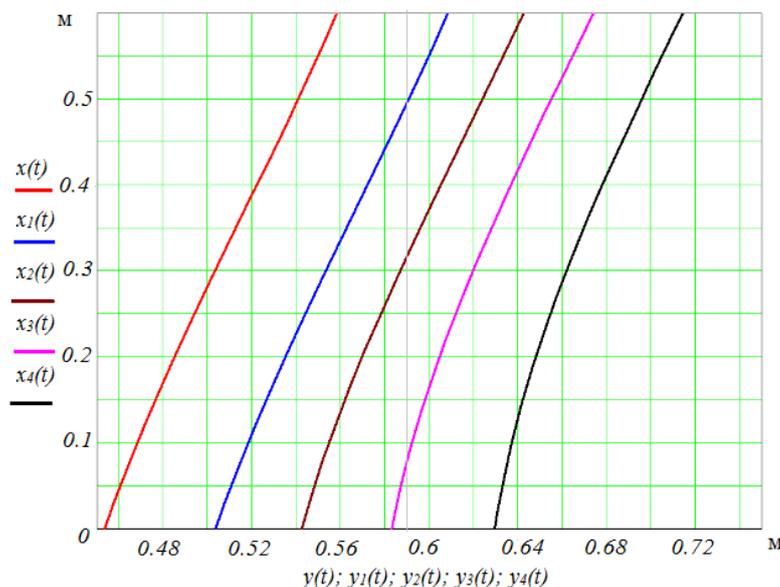


Рисунок 4 – Траектории движения стебельчатых частиц

На графике наглядно показано, что смещение стебельчатых частиц, находящихся ближе к центру разравнивающего диска, несколько ниже, поэтому пальцы располагаются на диске в два ряда с преимущественным расположением по периферии. Анализ полученных траекторий позволил установить основные параметры разравнивающего устройства: расстояние между пальцами 0,15...0,2 м; уплотнение при разравнивании 20...25%, угловая скорость 23...30 рад/с, диаметр разравнивающего диска 0,74 м.

На основании проведённых исследований установлена зависимость расхода гуматов от плотности сена в рулоне обеспечивающее его сохранность.

$$\theta = S_{\partial} v_{жс} = \frac{\lambda V}{\rho} \left( \frac{b \cdot e^{ar}}{a \cdot t} + \frac{k \cdot t}{2} + \frac{\gamma_0}{t} \right) \quad (4)$$

Расход гуматов в этом случае будет зависеть от плотности прессования, то есть времени начала формирования рулона, с другой стороны расход гуматов будет определяться площадью проходного сечения форсунок, то есть их типом и количеством. Скорость истечения жидкости из форсунок будет определяться давлением в напорной магистрали, поэтому точность внесения гуматов в процессе прессования сена будет определяться типом форсунок, их количеством и давлением в напорной магистрали.

На основании зависимости (4) в программе Mathcad рассчитаны параметры процесса внесения гуматов с учётом плотности прессования и построена графическая зависимость (рисунок 5).

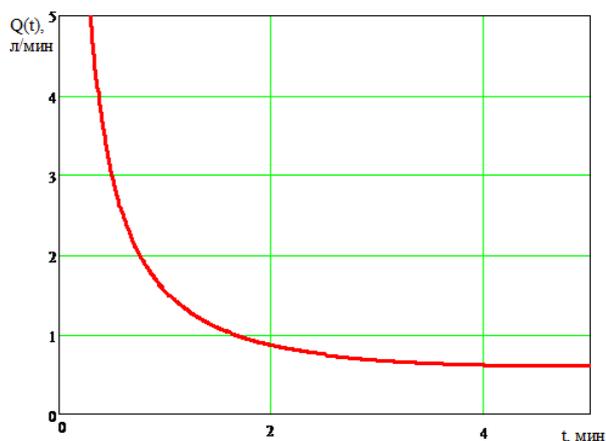


Рисунок 5 – График расхода гуматов (л/мин) в зависимости от времени прессования рулона (мин).

Анализ графической зависимости (рисунок 5) показал, что максимальный расход гуматов происходит в начале процесса прессования, когда формируются наименее плотные слои (сердцевина рулона), при этом максимальный расход препарата составляет около 5 л/мин, при увеличении плотности прессования расход препарата существенно уменьшается, так как повышенная плотность прессования исключает попадание влаги и контакт с атмосферным воздухом.

*В третьей главе «Программа и методики экспериментальных исследований совершенствования процесса и пресс-подборщика для заготовки стебельчатых кормов с обработкой гуматами»* описаны программа и методики экспериментальных исследований.

Программа экспериментальных исследований включала методики: исследования равномерности валка сена в поперечной плоскости; исследования распределения плотности прессованного сена внутри рулона; обоснования рациональных параметров и режимов работы разравнивающего устройства; исследования параметров и режимов работы установки для внесения гуматов; исследования влияния нормы расхода гуматов на качество прессованного сена в рулонах; производственных исследований влияния нормы расхода гуматов на сохранность сена.

Исследования проводились в сельскохозяйственном производственном кооперативе «Красный Маяк» Спасского района, ООО «Авангард» Рязанского района Рязанской области, ЗАО «СХП Семёновское» Ступинского района Московской области, а также в лабораторных условиях на базе ФГБОУ ВО РГАТУ.

*В четвертой главе «Результаты экспериментальных исследований совершенствования процесса и пресс-подборщика для заготовки стебельчатых кормов с обработкой гуматами»* приведены результаты экспериментальных исследований.

Исследования распределения плотности прессованного сена внутри рулона позволили получить топографическую картину его плотности, которая приведена на рисунке 6. Уравнение регрессии выглядит следующим образом

$$V_3 = 112.523 + 144.617 \cdot V_1 + 197.146 \cdot V_2 - 86.218 \cdot V_1^2 - 27.213 \cdot V_2^2 - 261.13 \cdot V_1 \cdot V_2 \quad (5)$$

где  $V_3$  – плотность сена в рулоне без разравнивания, кг/м<sup>3</sup>;

$V_2$  – глубина проникновения наконечника, м;

$V_1$  – ширина рулона, м.

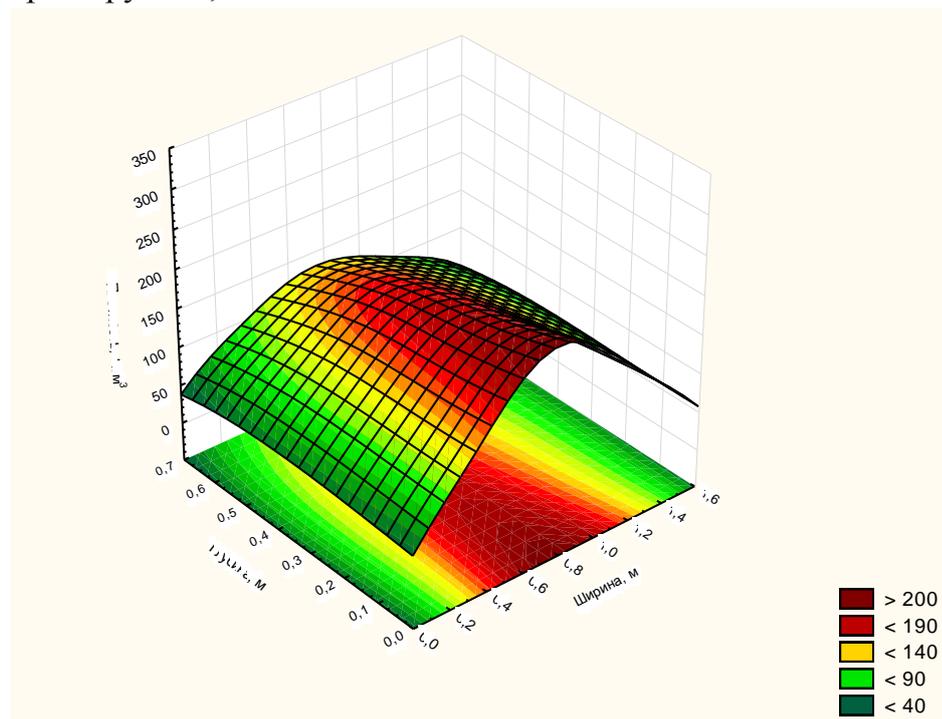


Рисунок 6 – Распределение плотности сена внутри рулона

В результате исследований установлено, что плотность сена в средней части (по ширине) рулона в 2...3 раза выше, чем по краям рулона. Зона повышенной плотности составляет 0,7 м, что равно 44% ширины рулона. Для повышения сохранности сена и исключения проникновения воздуха и влаги, необходимо обеспечивать равномерность плотности по всей ширине рулона.

Так же были проведены исследование распределения плотности сена внутри рулона сформированного пресс-подборщиком с разравнивающим устройством (рисунок 7). Уравнение регрессии плотности сена в рулоне после разравнивания выглядит следующим образом:

$$V_4 = 78.531 + 160.275 \cdot V_1 + 39.44 \cdot V_2 - 121.259 \cdot V_1^2 - 415.77 \cdot V_2^2 - 205.945 \cdot V_1 \cdot V_2 \quad (6)$$

где  $V_4$  – плотность сена в рулоне после разравнивания, кг/м<sup>3</sup>;

$V_2$  – глубина проникновения наконечника, м;

$V_1$  – ширина рулона, м.

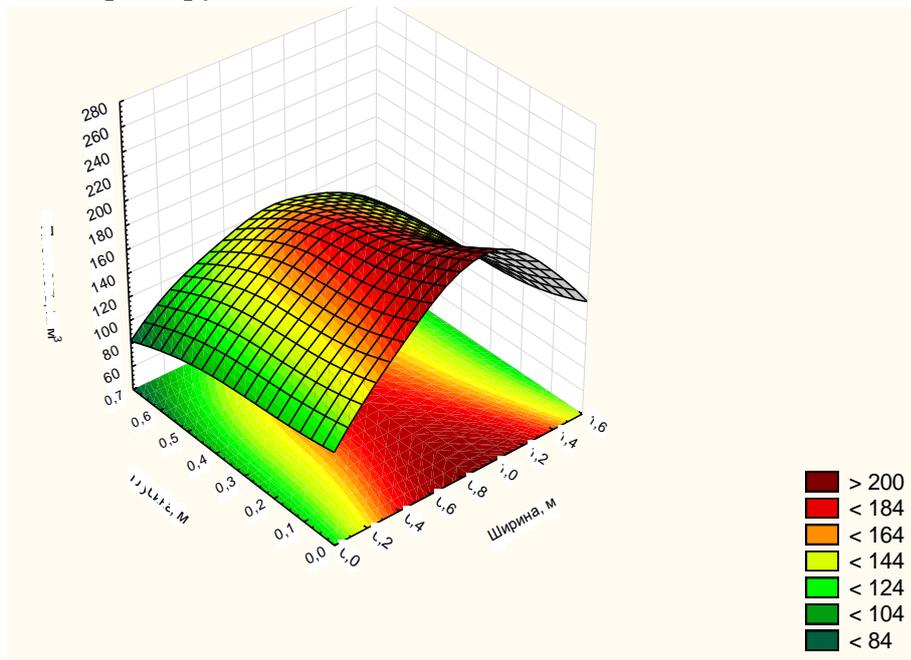


Рисунок 7 – Распределение плотности сена внутри рулона после разравнивания

Анализ графика распределения плотности после работы разравнивающего устройства показал, что плотность сена по краям рулона выросла с 40 кг/м<sup>3</sup> до 84 кг/м<sup>3</sup>, а в середине рулона плотность осталась прежней (на уровне 180 – 200 кг/м<sup>3</sup>). Следует отметить, что плотность прессования на краях снижается из-за релаксации напряжений благодаря низким значениям коэффициента трения, особенно стеблей трав.

В результате экспериментальных исследований пресс-подборщика, оборудованного разработанным разравнивающим устройством, установлено, что применение разравнивающего устройства со следующими рациональными параметрами и режимами: расстояние между пальцами 0,15 м, угловая скорость дисков 25 рад/с, диаметр дисков 0,74 м, - позволяет повысить вес рулона в среднем на 50 кг, тем самым увеличив производительность пресс-подборщика на 8-15%.

На основании исследования неравномерности расхода гуматов в зависимости от количества форсунок и рабочего давления получено уравнение регрессии (рисунок 8):

$$\psi(n, P) = 70.03 + 76.29 \cdot P_{жс} - 25.67 \cdot n_{ф} - 91.97 \cdot P_{жс}^2 + 0.42 \cdot n_{ф} \cdot P_{жс} + 1.99 \cdot n_{ф}^2 \quad (7)$$

где  $\psi$  – неравномерность расхода гуматов, %;  $n_{ф}$  – количество форсунок, шт;  $P_{жс}$  – давление рабочей жидкости, МПа.

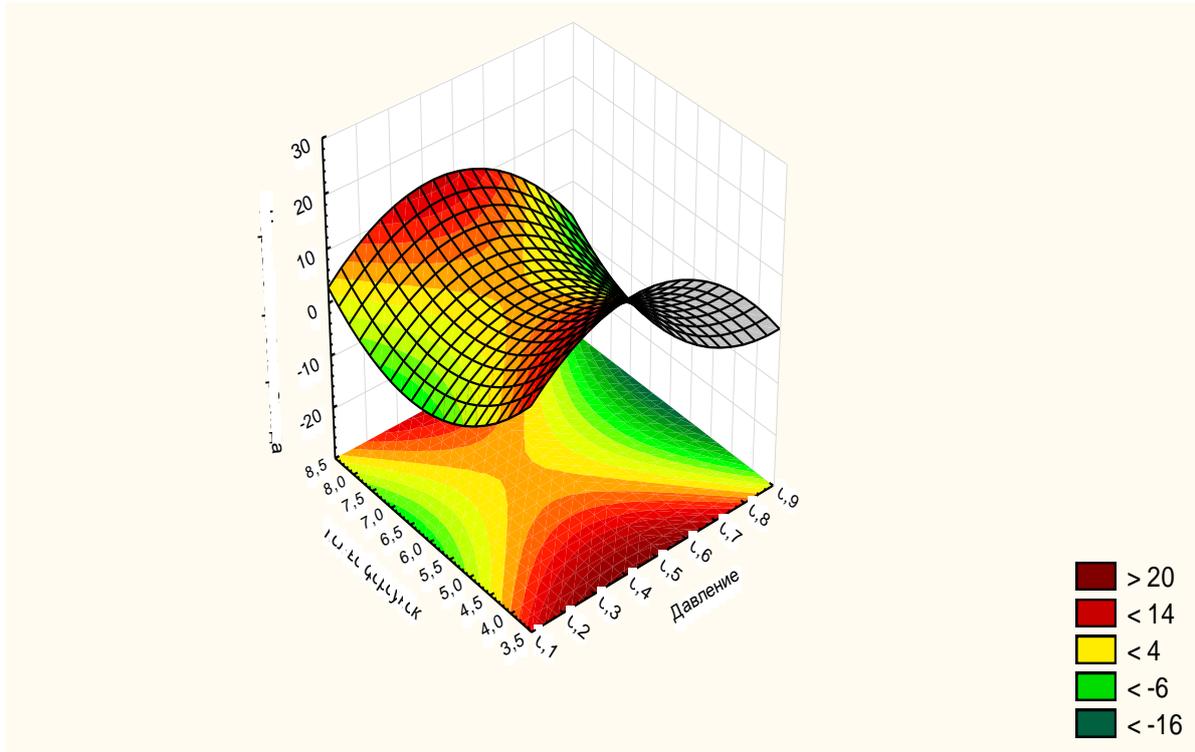


Рисунок 8 – Зависимость неравномерности расхода гуматов от количества форсунок и рабочего давления

Анализ графика показывает, что с увеличением давления и количества форсунок увеличивается расход гуматов. Неравномерность расхода гуматов по форсункам имеет явно выраженный оптимум при давлении 0,45 МПа и количестве форсунок 6, что соответствует неравномерности распределения гуматов по форсункам 4,5%.

В результате исследования влияния нормы расхода гуматов на качество прессованного сена в рулонах установлено, что при обработке сена препаратом «Кормогумат АС» с нормой расхода 1,5 л /100 кг или 3 л /100 кг наблюдается повышение сохранности обработанного сена в сравнении с контрольными образцами. Количество перевариваемого протеина выше на 25% и 30%, сырого протеина 10% и 25% соответственно норме расхода. Анализируя результаты микробиологического исследования, отмечено резкое снижение общего количества колоний микроорганизмов в образцах сена обработанных препаратом «Кормогумат АС» с нормой расхода 3л/100 кг, а также полное отсутствие колоний плесневых грибов. Обработка сена гуматами (препарат «Кормогумат АС») в процессе прессования позволяет предотвратить развитие патогенной микрофлоры (в то время как у контрольных образцов обнаружены колонии плесневых грибов) и обеспечить показатели сохранности сена на уровне 1 класса (у контрольных образцов – 2 класс).

***В пятой главе «Результаты внедрения и технико-экономическая эффективность усовершенствованного процесса и пресс-подборщика для заготовки***

*стебельчатых кормов с обработкой гуматами»* произведена технико-экономическая оценка внедрения предлагаемых решений. Установлено, что экономический эффект от использования усовершенствованного процесса и пресс-подборщика для заготовки стебельчатых кормов с обработкой гуматами составляет 292,46 тыс. руб. за 5 лет при заготовке 250 тонн сена в год. Предложенные технико-технологические решения внедрены в производственный процесс ЗАО «СХП Семёновское» Ступинского района Московской области.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. На основании анализа научно-производственного опыта и по результатам исследований распределения плотности сена внутри рулона в процессе заготовки стебельчатых кормов установлено, что в радиальном направлении плотность сена возрастает от центра рулона к его периферии по экспоненциальной зависимости; по ширине рулона плотность растительной массы снижается от центра к краям со 180-200 кг/м<sup>3</sup> до 40 кг/м<sup>3</sup>, что приводит к затеканию влаги и образованию очагов поражения сена внутри рулона. Установлено, что для повышения сохранности прессованного сена усовершенствованный технологический процесс заготовки стебельчатых кормов должен включать технологический приём разравнивания валка сена при прессовании и операцию внесения консервантов - гуматов, которые не только обладают дезинфицирующими свойствами, но и являются экологически безопасной кормовой добавкой.

2. Теоретически и экспериментально обоснована конструктивно-технологическая схема пресс-подборщика с разравнивающим устройством и установкой для внесения гуматов. Разравнивающее устройство выполнено в виде двух дисков с пружинными пальцами, имеющих привод и вращающихся по ходу движения валка в противоположные стороны. Теоретически и экспериментально установлены рациональные параметры и режимы работы разравнивающего устройства пресс-подборщика: расстояние между пальцами 0,15...0,2 м, степень уплотнения при разравнивании 20...25%, угловая скорость дисков 23...30 рад/с, диаметр дисков 0,74 м. Установка для внесения гуматов содержит ёмкость, насос постоянного давления, предохранительный клапан, регулировочный шаровой кран с электроприводом и распределительное устройство, выполненное в виде штанги с форсунками, причем расход гуматов регулируется краном с электроприводом в зависимости от плотности прессования и времени формирования рулона. Теоретически и экспериментально установлены рациональные параметры и режимы работы установки для внесения гуматов: количество форсунок 6 штук при давлении 0,45 МПа, средняя норма расхода гуматов 3 л/100 кг сена (для препарата «Кормогуат АС»).

3. В результате производственных испытаний установлено, что применение усовершенствованного процесса и пресс-подборщика для заготовки стебельчатых кормов с обработкой гуматами повышает сохранность прессованного сена в рулонах на 15%–17%. Выявлено, что применение разравнивающего устройства обеспечивает повышение равномерности плотности прессованного сена внутри рулона (плотность на

периферии рулона выросла с 40 до 84 кг/м<sup>3</sup> при неизменных значениях плотности в сердцевине рулона 180-200 кг/м<sup>3</sup>), снижая вредное воздействие от проникновения влаги и воздуха, и кроме того повышает производительность пресс-подборщика на 8-15 %. Обработка сена гуматами (препарат «Кормогуат АС») в процессе прессования позволяет предотвратить развитие патогенной микрофлоры (в то время как у контрольных образцов обнаружены колонии плесневых грибов) и обеспечить показатели сохранности сена на уровне 1 класса (у контрольных образцов – 2 класс).

4. Установлено, что технико-экономическая эффективность усовершенствованного процесса и пресс-подборщика для заготовки стебельчатых кормов с обработкой гуматами составляет 292,46 тыс. руб. за 5 лет при заготовке 250 тонн сена в год. Предложенные технико-технологические решения внедрены в производственный процесс ЗАО «СХП Семёновское» Ступинского района Московской области.

### **Предложения производству**

1. Для повышения сохранности прессованного сена и снижения расхода гуматов, их рекомендуется вносить в процессе прессования в зависимости от изменения плотности слоёв в рулоне.

2. Для повышения сохранности прессованного сена рекомендуется использовать усовершенствованный пресс-подборщик с разравнивающим устройством, улучшающим равномерность распределения плотности сена внутри рулонов, что способствует снижению воздействия внешних факторов – проникновению влаги и атмосферного воздуха внутрь рулона.

### **Перспективы дальнейшей разработки темы:**

В дальнейшей перспективе научных исследований необходимо продолжить работу в направлении разработки средств для повышения равномерности распределения плотности сена внутри рулонов и использования гуматов в качестве консервирующей добавки для стебельчатых кормов с оценкой влияния на продуктивность животных.

### **Основные положения диссертации опубликованы в следующих работах:**

#### **Статьи в ведущих изданиях, рекомендованных ВАК России**

1. Тетерин, В.С., Исследование плотности прессованного сена / М.Ю. Костенко, Н.А. Костенко, В.С.Тетерин, О.А. Тетерина // Механизация и электрификация сельского хозяйства, №5, 2015. С. 26-27.

2. Тетерин, В.С. Теоретические исследования движения солоmistых частиц при разравнивании валка сена [Электронный ресурс] / В.С. Тетерин, Д.А. Волченков, М.Ю. Костенко, И.А. Успенский, Г.К. Рембалович, А.А. Голиков, Н.А. Костенко // Научный журнал КубГАУ. – 2015. – №112(08).

3. Тетерин, В.С. Исследование влияния гуматов на микробиологическую среду рулонов прессованного сена / Н.В. Бышов, М.Ю. Костенко, В.С. Тетерин, Г.К. Рембалович, О.А. Тетерина // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета имени П.А. Костычева. – 2015. - №4. – С. 52-55.

4. Тетерин, В.С. Исследование распределения плотности прессованного сена внутри рулона / Н.В. Бышов, В.С. Тетерин, И.А. Успенский, М.Ю. Костенко, Г.К. Рембалович // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета имени П.А. Костычева. – 2015. – №4. – С. 48–52.

#### Патенты РФ

5. Пат.147211 Российская Федерация, МПК А23К 3/00. Устройство для внесения консервирующих препаратов в растительную массу / Костенко М.Ю., Горячкина И.Н., Тетерин В.С., Мельников В.С.; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВПО РГАТУ. - №2014122615; заявл.03.06.2014; опубл.27.10.2014.Бюл. №30 – 2с.: ил.

6. Пат.157147 Российская Федерация, МПК А01F 15/07. Рулонный пресс-подборщик / Костенко М.Ю., Тетерин В.С., Костенко Н.А., Тетерина О.А.; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВПО РГАТУ. - №2015121102/13; заявл.02.06.2015; опубл.20.11.2015.Бюл. №32 – 2с.: ил.

#### Публикации в сборниках и других научных изданиях

7. Тетерин, В.С. Исследование сохранности прессованного сена при внесении гуматов в качестве консервирующей добавки / М.Ю. Костенко, Г.К. Рембалович, Н.А. Костенко, В.С. Тетерин, О.А. Тетерина // Интеллектуальные машинные технологии и техника для реализации Государственной программы развития сельского хозяйства: сборник научных докладов Международной научно-технической конференции. – Москва: Всероссийский научно-исследовательский институт механизации сельского хозяйства, 2015. – С. 242–244.

8. Тетерин, В.С. Совершенствование технологического процесса пресс-подборщика с консервированием сена гуматами / М.Ю. Костенко, В.С. Тетерин// Проблемы механизации агрохимического обслуживания сельского хозяйства: сборник научных трудов по материалам международной научно-практической конференции. – Рязань: ФГБНУ ВНИМС, 2015. – С.164 – 168.

9. Тетерин, В.С. Анализ технологий консервации прессованного сена / В.С. Тетерин // Научные приоритеты в АПК: инновационные достижения, проблемы, перспективы развития: материалы Международной научно- практической конференции. – Рязань: ФГБОУ ВПО РГАТУ, 2013. – С. 200–202.

10. Тетерин, В.С. Исследование гидравлической установки для внесения гуматов / В.С. Тетерин, В.С. Мельников, Н.Д. Саъдуллоев, В.М. Соколин // Вестник совета молодых ученых рязанского государственного агротехнологического университета имени П.А. Костычева. – 2015. – №1. – С. 184-188.

11. Тетерин, В.С. Технология консервации прессованного сена с применением гуминовых кислот / В.С. Тетерин // Инновационные методы решения научных и технологических задач Рязанской области: тезисы докладов второй региональной конференции молодых учёных. – Рязань: РГРТУ, 2014. – С. 109-112.

12. Тетерин, В.С. Технология консервации прессованного сена с применением гуминовых кислот и разработка технических средств для их внесения / В.С. Тетерин,

М.Ю. Костенко // Национальное достояние России: сборник тезисов работ участников VIII Всероссийской конференции обучающихся. – НС Интеграция». Государственная Дума ФС РФ, Минобрнауки России, Мин-сельхоз России, РОСКОСМОС, РАЕН, РИА, РАО. – М., 2014. – С. 895 – 896.

13. Тетерин, В.С. Экологически чистая технология обеспечения сохранности сельскохозяйственной продукции / В.С. Тетерин // Инновационные методы решения научных и технологических задач Рязанской области: тезисы докладов 3-й региональной конференции молодых ученых. – Рязань: РГРТУ, 2015. – С. 114–116.

14. Тетерин, В.С. Анализ способов обеспечения сохранности прессованного сена / В.С.Тетерин, О.А.Тетерина, М.Ю.Костенко // Молодежь и аграрная наука XXI века: проблемы и перспективы: материалы VI Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. – Курск: Изд-во Курской ГСХА, 2015. – С 92–98.

Подписано в печать 5.04.2016 Формат 60x84 1/16.

Бумага офсетная, Печать трафаретная. Усл. печ. л. 1

Тираж 100 экз. Заказ № 117

Отпечатано в ИРИЦ ФГБОУ ВО РГТУ

390044, г. Рязань, ул. Костычева, 1