

На правах рукописи



СИЛУШИН Павел Александрович

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕПЛОВОЙ ОБРАБОТКИ ФУРАЖНОГО
ЗЕРНА С ОБОСНОВАНИЕМ ПАРАМЕТРОВ МИКРОНИЗАТОРА**

Специальность: 05.20.01 – Технологии и средства механизации сельского
хозяйства

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Рязань – 2016

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А.Костычева» на кафедре «Технические системы в АПК».

Научный руководитель

доктор технических наук, профессор
заслуженный деятель науки и техники РФ
Некрашевич Владимир Федорович

Официальные оппоненты:

Курдюмов Владимир Иванович
доктор технических наук, профессор,
заведующий кафедры «Агротехнологии,
машины и безопасность жизнедеятельности»
ФГБОУ ВО «Ульяновская ГСХА им.
П.А. Столыпина»

Купреенко Алексей Иванович

доктор технических наук, доцент, ФГБОУ ВО
«Брянский ГАУ», профессор кафедры
«Технологическое оборудование
животноводства и перерабатывающих
производств»

Ведущая организация:

Федеральное государственное бюджетное
научное учреждение «Всероссийский научно-
исследовательский институт механизации
животноводства» (ФГБНУ ВНИИМЖ)

Защита диссертации состоится 5 апреля 2016 г. в 10:00 часов на заседании диссертационного совета Д 220.057.03 при федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Рязанский государственный агротехнологический университет им. П.А. Костычева» по адресу: 390044, Рязанская область, г. Рязань, ул. Костычева, д.1, зал заседаний диссертационного совета, тел.(4912)37-37-40,
E-mail: ds220.057.03@yandex.ru

С диссертацией и авторефератом можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВО Рязанский ГАТУ и на сайте www.rgatu.ru, с авторефератом – на сайте Высшей аттестационной комиссии Министерства образования и науки Российской Федерации www.vak.ed.gov.ru.

Автореферат разослан « 1 » марта 2016 г.

Ученый секретарь

диссертационного совета,
доктор технических наук, доцент



А.В. Шемякин

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Главными путями повышения эффективности животноводства являются обеспечение оптимальных условий содержания, рационального кормления и улучшения породистости скота.

Наукой и практикой доказано, что примерно 60% животноводческих затрат падает на корма. Зерно в рационах сельскохозяйственных животных и птиц по питательности составляет у отдельных видов от 30-40% до 100%. Поэтому рациональное использование энергетического потенциала зерна для повышения продуктивности животных является весьма актуальным.

Современная наука ищет такие способы подготовки зерна к скармливанию, которые увеличивают отдачу его для повышения продуктивности животных. Одним из них является микронизация. Она заключается в том, что зерно скоротечно нагревается за счет действия инфракрасных лучей (ИК-излучения), в результате чего в зерне происходят биохимические изменения, способствующие повышению переваримости питательных веществ. Основным недостатком существующих микронизаторов является высокая энергоемкость процесса.

Степень разработанности темы. Вопросами совершенствования технологий и средств механизации тепловой обработки кормов ИК-лучами занимались: К. И. Андонов, В.И. Анискин, Н.Ю. Афиногенов, Н. В. Брагинцев, А.С. Гинзбург, С.В. Зверев, Н.Г. Кипарисов, А.В. Клименюк, С.В. Корнилов, А.И. Купреенко, В.И. Курдюмов, П.Д. Лебедев, В.П. Муругов, В.Ф. Некрашевич, П.А. Новиков, И.А. Рогов, В.И. Сыроватка, Е.П. Тюрев и другие. Несмотря на значительное количество научных исследований по тепловой обработке, вопросы эффективного использования энергетического потенциала зерна остаются актуальными и недостаточно изученными.

Работа выполнена в соответствии с планом НИОКР ФГБОУ ВО РГАТУ на 2011...2015 гг. по теме №6 «Совершенствование энергоресурсосберегающих технологий и средств механизации в отраслях животноводства» (№ гос. Регистрации 01201174434) в рамках раздела 6.2. «Технология и средства механизации для подготовки зернофуража к скармливанию сельскохозяйственным животным».

Цель исследований. Повышение эффективности процесса тепловой обработки зерна установкой для его микронизации, обеспечивающей снижение энергозатрат.

Объект исследований. Технологический процесс тепловой обработки фуражного зерна с использованием установки для микронизации фуражного зерна.

Предмет исследований. Закономерности протекания технологического процесса тепловой обработки фуражного зерна в установке для микронизации.

Задачи исследования:

- проанализировать современные технологии подготовки фуражного зерна;
- изучить физико-механические и теплофизические свойства фуражного зерна, принятого к исследованию;

- теоретически обосновать параметры устройства для микронизации фуражного зерна;
- экспериментально уточнить параметры устройства для микронизации фуражного зерна;
- провести проверку микронизатора фуражного зерна в производственных условиях и дать оценку его экономической эффективности.

Научную новизну работы составляют:

- физико-механические и теплофизические свойства фуражного зерна;
- параметры установки для микронизации фуражного зерна;

Техническая новизна подтверждена патентами на полезные модели РФ №117268 «Устройство для микронизации зерна».

Практическая значимость работы составляют.

- оригинальная конструкция установки для микронизации фуражного зерна (патент РФ на полезную модель № 117268);
- получены высокие значения зоотехнических и технико-экономических показателей работы установки для микронизации фуражного зерна.
- обоснование критерия достаточности микронизации зерна;

Методы исследования. Достижение поставленной цели осуществлялось теоретическими и экспериментальными исследованиями.

Теоретические исследования выполнялись с использованием основных законов и методов механики, математики и теплотехники.

Экспериментальные исследования в лабораторных и производственных условиях проводились на разработанных и изготовленных установках с использованием стандартных и частных методик.

Обработка полученных результатов осуществлялась методом математической статистики с применением ЭВМ.

Положения выносимые на защиту:

- модель функционирования линии с микронизацией фуражного зерна;
- показатели физико-механических и теплофизических свойств фуражного зерна;
- модель функционирования и теоретическое описание, обосновывающее параметры устройства для микронизации фуражного зерна;
- технологические параметры процесса микронизации фуражного зерна;
- результаты проверки предложенных конструктивных и технологических решений в лабораторных и производственных условиях.

Достоверность результатов исследований. Для осуществления лабораторных и производственных исследований использовались современные приборы и установки. Полученные результаты работы подтверждаются достаточной сходимостью результатов теоретических и экспериментальных исследований и положительными результатами производственных испытаний.

Реализация результатов исследования. Разработанное устройство для микронизации фуражного зерна было изготовлено и прошло опытную проверку в 2014...2015 гг. на зерне, предоставленном ЗАО «Щацкий мясокомбинат» Щацкого района, Рязанской области и ООО «Азеевское» Ермишинского района, Рязанской области.

Вклад автора в решение проблемы состоит в обобщении теоретических и экспериментальных результатов исследований, проведенных как самостоятельно, так и в соавторстве. При этом автору принадлежит: участие в постановке цели, формулировании задач аналитических и экспериментальных исследований, проведение лабораторно-производственных исследований, обработка результатов и их интерпретация, участие в написании статей и выводов по ним.

Апробация работы. Основные положения диссертационной работы доложены и обсуждены на научно-практических конференциях ФГБОУ ВПО РГАТУ (2010, 2011, 2012, 2013 г); ФГБОУ ВПО СГАУ, (2011, 2013 г); ФГБОУ ВПО Санкт-Петербургский ГАУ, (2011 г); Рязань, обл. Библиотека им. Горького, (2012, 2013 г); ФГБОУ ВПО Мордовский ГУ имени Н.П. Огарева, г. Саранск, (2012 г); ФГБОУ ВПО РГРТУ, Рязань, (2013, 2014 г); «Молодежь и инновации – 2013», БГСХА Республика Беларусь, г.Горки, (2013 г.), победитель программы УМНИК (2013 г.).

Публикации. По основным положениям диссертации опубликовано 10 научных работ, в том числе 3 в изданиях, рекомендованных ВАК РФ, и 3 патента РФ на полезную модель.

Структура и объём работы. Диссертационная работа состоит из реферата, введения, пяти разделов, общих выводов и рекомендаций производству, списка используемой литературы, включающего 152 наименования, приложения. Работа изложена на 234 страницах машинописного текста, из которых основной текст содержит 138 страниц и иллюстрирован 56 рисунками и 7 таблицами.

Краткое содержание работы

Во введении обоснована актуальность темы, сформулирована цель и задачи работы, её народнохозяйственное значение. Представлены основные положения, выносимые на защиту.

В первом разделе «Анализ способов и средств тепловой обработки фуражного зерна» дан обзор и анализ способов и средств тепловой обработки, выполненных исследований по проблеме тепловой подготовки зерна к скармливанию сельскохозяйственным животным. Обоснована необходимость в разработке устройства для микронизации, входящего в линию для подготовки зерна к скармливанию. На основании анализа известных технических решений по тепловой обработке фуражного зерна обосновано перспективное направление разработки устройства для микронизации фуражного зерна.

Во втором разделе «Физико-механические и теплофизические характеристики принятых к исследованию видов микронизированного фуражного зерна» изложены программа и методика исследований, приведены методы определения его влажности, объемной массы, угла естественного откоса, коэффициента трения по стальной поверхности и кварцевому стеклу, коэффициентов теплопроводности и температуропроводности, теплоёмкости. Представлено описание

используемых для проведения опытов приборов и измерительной аппаратуры.

В третьем разделе «Теория процесса микронизации фуражного зерна» дано описание технологии подготовки фуражного зерна к скармливанию с использованием устройства для микронизации зерна. Представлена параметрическая модель и теоретически обоснованы основные параметры устройства для микронизации фуражного зерна.

Конструктивно-технологическая схема устройства для микронизации фуражного зерна представлена на рисунке 1.

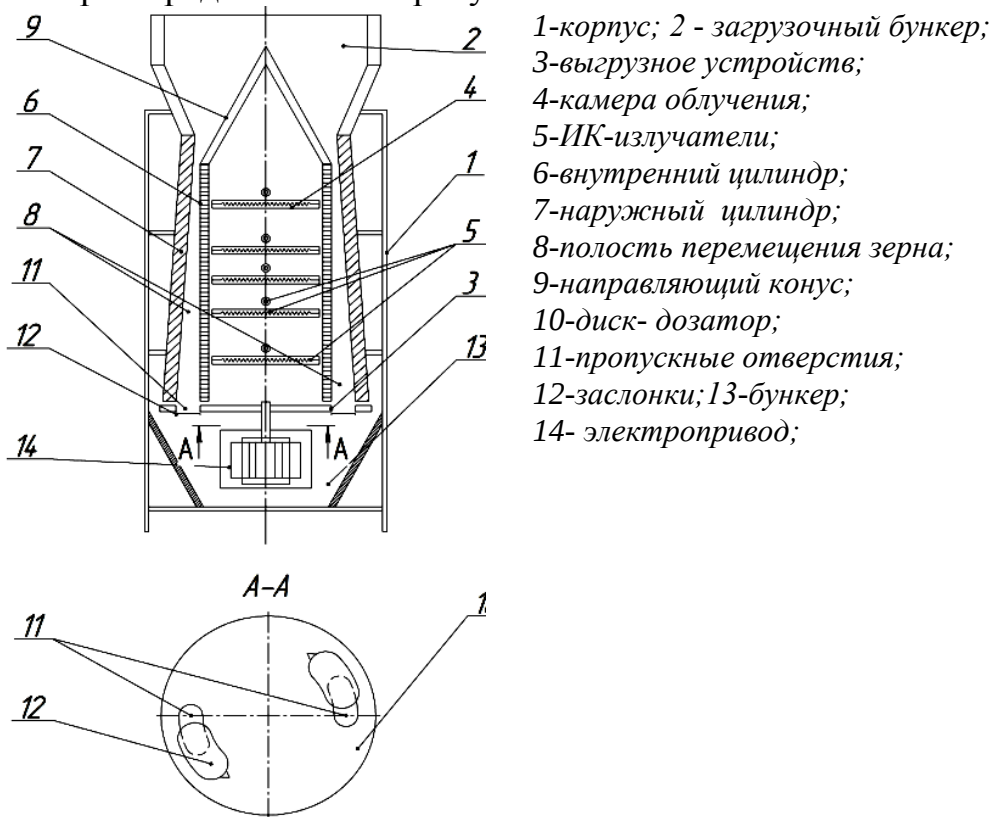


Рисунок 1 – Схема устройства для микронизации фуражного зерна

Устройство для микронизации зерна работает следующим образом. В приемный бункер 2 засыпают предварительно очищенное от примесей зерно, которое под собственным весом ссыпается в полость 8 между внутренним цилиндром 6 и наружным цилиндром 7, выполненным в виде усеченного конуса, до выгрузного диска 10, выгрузные отверстия 11 которого закрыты. После заполнения полости 8, включают ИК-излучатели 5 и при достижении требуемой экспозиции, в зависимости от вида обрабатываемого зерна, включают электродвигатель 14, предварительно открыв выгрузные отверстия 11 диска 10 выгрузного устройства 3 на величину необходимой производительности. Обработанное зерно через выгрузные отверстия 11 ссыпается в приемный бункер 13. После опустошения бункера 2 и полости 8 между цилиндрами отключаются электродвигатель 14 и ИК-излучатели 5.

Истечение зерна свободно восполняется зерном из бункера и создает напор.

По высоте кольцевой части, где происходит нагревание зерна, объем зерен увеличивается по мере их прохождения по высоте этой части. Для

обеспечения свободного прохождения увеличивающихся в объеме зерен ширина кольца должна увеличиваться. Необходимое увеличение ширины кольца можно определить из закона сохранения массы.

Объем зерен в начале камеры облучения

$$dV_0 = \pi \cdot r_0^2 dy - \pi \cdot R^2 dy \quad (1)$$

где, R – радиус внутреннего цилиндра, м;

r_0 – радиус наружной стенки верхней части кожуха-отражателя, м;

Объем той же массы зерен на расстоянии y равен

$$dV(y) = \pi \cdot r^2(y) dy - \pi \cdot R^2 dy \quad (2)$$

где, $r(y)$ – радиус наружной стенки кожуха-отражателя на расстоянии y от верхней его части, м;

Согласно закону сохранения массы отношение объемов зерна, согласно выражений (1) и (2) будет выглядеть следующим образом

$$\frac{dV(y)}{dV_0} = \frac{r^2(y) - R^2}{r_0^2 - R^2} \quad (3)$$

Из уравнения равенства масс выделенных объемов (рис.2) получим,

$$dV_0 \cdot \rho_0 = dV(y) \cdot \rho(y)$$

находим:

$$\frac{dV(y)}{dV_0} = \frac{\rho_0}{\rho(y)} \quad (4)$$

где, dV_0 – начальный объем кольца высотой dy , м³;

ρ_0 – начальная объемная масса фуражного зерна, кг/м³;

$\rho(y)$ – объемная масса фуражного зерна на расстоянии y , м³;

$dV(y)$ – объем кольца высотой dy на расстоянии y , м³;

Приравняем равенства (3) и (4). В результате получим:

$$\frac{\rho_0}{\rho(y)} = \frac{r^2(y) - R^2}{r_0^2 - R^2} \quad (5)$$

Из (5) находим

$$r^2(y) = \left(\frac{\rho_0}{\rho(y)} + \frac{R^2}{r_0^2 - R^2} \right) \cdot (r_0^2 - R^2) \quad (6)$$

Примем линейный закон изменения плотности зерна в камере облучения

$$\rho = \rho_k + \frac{\rho_0 - \rho_k}{L} \cdot (L - y) \text{ , кг/м}^3 \quad (7)$$

где L – высота камеры облучения мирконизатора фуражного зерна, м;

ρ_0 – начальная объемная масса фуражного зерна, кг/м³;

ρ_k – конечная объемная масса фуражного зерна, кг/м³;

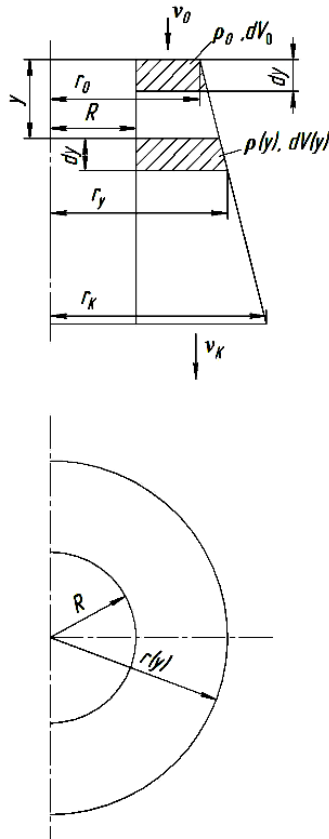
Подставив (7) в (6) приходим к следующему уравнению

$$r^2 = \left(\frac{\rho_0 \cdot (r_0^2 - R^2)}{\rho_k + \frac{\rho_0 - \rho_k}{L} \cdot (L - y)} + R^2 \right), \text{ м}^2$$

Откуда находим радиус внешнего кольца, как функцию расстояния y

$$r = \sqrt{\frac{\rho_0 \cdot (r_0^2 - R^2) \cdot L}{\rho_k \cdot L + (\rho_0 - \rho_k) \cdot (L - y)} + R^2}, \text{ м} \quad (8)$$

Процесс истечения зерна можно разбить на два этапа. Первый этап: бункер заполнен полностью и в результате истечения зерна через отверстие диска-дозатора происходит уменьшение высоты слоя зерна в бункере. Это уменьшение происходит на величину H_0 т.е. до вершины направляющего конуса. На втором этапе происходит заполнение бункера зерном от вершины конуса до уровня высотой H_0 , и подача зерна в бункер прекращается. Далее процесс повторяется.



R – радиус внутреннего цилиндра;
 $r(y)$ – радиус наружной стенки на расстоянии y от верхней части;
 ρ_0 – начальная объемная масса фуражного зерна;
 $\rho(y)$ – объемная масса фуражного зерна на расстоянии y ;
 dV_0 – начальный объем кольца высотой dy ;
 $dV(y)$ – объем кольца высотой dy на расстоянии y ;

Рисунок 2 – Вертикальный и горизонтальный разрезы кольцевой части прохода зерна в микронизаторе

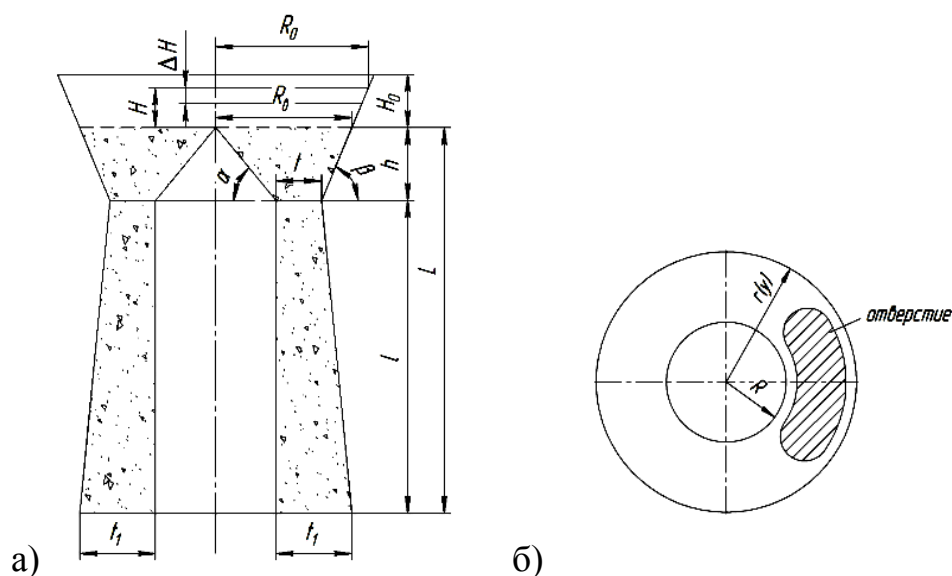
На скорость истечения зерна влияет уровень зерна в бункере от вершины конуса до значения H_0 (рис. 3). При этом скорость истечения должна быть такой, чтобы зерно в кольцевой части находилось определенный промежуток времени t_{Π} конуса.

При $H=0$ найдем время опорожнения бункера до вершины направляющего конуса

$$t_{on} = \frac{\pi}{\lambda \cdot A_0 \cdot \sqrt{2 \cdot g}} \cdot |I_1(0)|, \text{ с} \quad (9)$$

где λ – коэффициент истечения, определяемый опытным путем;

A_0 – площадь горизонтального сечения микронизатора;



а) бункер и кольцевая часть (камера облучения); б) диск – дозатор;

Рисунок 3 – Принципиальная схема устройства для микронизации фуражного зерна

Найдем время, за которое заполнится бункер на втором этапе

$$t_{зан} = \frac{\pi \cdot I_2(H_0)}{A_0 \cdot \lambda \cdot \sqrt{2 \cdot g}}, \text{ с} \quad (10)$$

Полный цикл состоит из первого и второго этапов. Время всего цикла равно

$$t_u = t_{он} + t_{зан} = \frac{\pi}{A_0 \cdot \lambda \cdot \sqrt{2 \cdot g}} (I_1(0) + I_2(H_0)), \text{ с} \quad (11)$$

Производительность (кг/с) микронизатора можно определить с одной стороны как

$$\Pi = S \cdot V_u \cdot \rho_0, \text{ кг/с} \quad (12)$$

где S - площадь поперечного сечения промежутка между внутренним и наружным цилиндрами, м^2 ;

V_u - скорость прохождения материала в сечении между цилиндрами, м/с ;

ρ_0 - начальная объемная масса зерна, кг/м^3 .

Площадь поперечного сечения S определяется по формуле

$$S = \pi(r^2 - R^2), \text{ м}^2 \quad (13)$$

где r - внутренний радиус кожуха-отражателя по верхнему обрезу, м ;

R - внешний радиус наружного цилиндра, м .

Скорость истечения зерна в микронизаторе определится по формуле

$$V_u = k \sqrt{2 \cdot g \cdot H_0}, \text{ м/с} \quad (14)$$

где g - ускорение силы тяжести, м/с^2 ;

H_0 - высота зерна над верхним уровнем внутреннего цилиндра, м .

$$\text{Тогда,} \quad \Pi = \pi(r^2 - R^2) \cdot \rho_0 \cdot k \sqrt{2 \cdot g \cdot H_0}, \text{ кг/с} \quad (15)$$

С другой стороны производительность микронизатора можно определить по формуле

$$\Pi = \frac{m}{t_m}, \text{ кг/с} \quad (16)$$

где m - масса зерна в микронизаторе, кг;

t_m - время микронизации, с.

Масса зерна определится как

$$m = \pi(r^2 - R^2) \cdot L \cdot \rho_0, \text{ кг} \quad (17)$$

где L - высота микронизатора, м.

Производительность микронизатора тогда будет равна

$$\Pi = \frac{\pi(r^2 - R^2) \cdot L \cdot \rho_0}{t_m}, \text{ кг/с} \quad (18)$$

Приравняв формулы (15) и (18), можно получить высоту внутреннего цилиндра микронизатора или камеры облучения

$$\pi(r^2 - R^2) \cdot \rho_0 \cdot k \sqrt{2 \cdot g \cdot H_0} = \frac{\pi(r^2 - R^2) \cdot L \cdot \rho_0}{t_m} \quad (19)$$

Преобразуем формулу (19) получим

$$L = t_m \cdot k \sqrt{2 \cdot g \cdot H_0}, \text{ м} \quad (20)$$

Таким образом, высота камеры микронизации L зависит от коэффициента текучести зерна, высоты зерна над уровнем верхней кромки внутреннего цилиндра и достаточного времени его микронизации при заданной мощности светового потока.

Время пребывания зерна в микронизаторе регулируется величиной площади отверстий на выгрузном диске-дозаторе.

В четвёртом разделе «Исследование процесса микронизации фуражного зерна в лабораторных условиях» изложены программа и методики исследований, приведено описание лабораторной установки (рис. 4), оборудования и приборов, представлены результаты исследований. Обработка полученных данных проводилась согласно приведенной методике программ «Mathematika 4.2» и «Statistica 6.0» с помощью ЭВМ.

Программа экспериментальных исследований предусматривала:

- определение величины зазора между кварцевым стеклом и металлическим кожухом-отражателем;
- определение критерия достаточности микронизации фуражного зерна;
- определение расхода зерна от ширины зазора между кварцевым стеклом и металлическим кожухом-отражателем;
- определение критерия микронизации в зависимости от толщины кварцевого стекла;
- определение критерия микронизации в зависимости от высоты расположения ламп над кварцевым стеклом и изменения мощности светового потока;
- определение производительности микронизатора от площади сечения отверстия диска-дозатора микронизатора;



1 – опорные стойки; 2 – кожух-отражателя; 3 – Лампа ИК-излучателя (КГТ-220-1000); 4 – зерно; 5 – металлический лист; 6 – индикатор; 7 – рукоятка; 8 – пресс форма; 9 – динамометрическая пружина; 10 – пуасон; 11 – секундомер; 12 – шток;

Рисунок 4 – Общий вид лабораторной установки для определения критерия достаточности микронизации зерна путем его сжатия

Опыт проводился следующим образом. На металлический лист насыпалось зерно, на него укладывалось пластина из кварцевого стекла и над ней устанавливалась лампа ИК-излучения. Затем включались лампа и секундомер. Отбирая пробы через 5 с, зерно разрушалось при помощи пресса. В результате лабораторных исследований процесса микронизации фуражного зерна был получен ряд зависимостей.

Таблица 1 – Изменение усилия разрушения 50 зерен пшеницы от времени микронизации и высоты расположения лампы ИК-излучения, Н.

Культура – Пшеница							
Время t, с	Высота, м						
	0,1	0,09	0,08	0,07	0,06	0,05	0,04
	Усилие разрушения, Н						
0	702,34	702,34	702,34	702,34	702,34	702,34	702,34
10	688,38	680,69	678,49	673,01	647,72	631,24	621,35
15	673	669,71	658,71	644,42	623,54	609,26	563,12
20	640,03	633,43	624,64	602,66	587,28	551,01	537,82
25	637,83	618,05	607,06	572,98	523,53	514,74	516,94
30	587,28	575,19	563,11	552,11	502,65	423,52	394,95
35	579,58	553,21	544,42	523,53	427,92	398,25	315,82
40	572,97	542,22	526,83	505,95	357,59	350,98	269,67
45	527,93	525,73	497,16	424,62	267,47	255,38	218,01
50	375,17	369,67	359,78	352,09	193,83	192,74	171,85
55	349,89	345,51	336,71	330,11	-	-	-
60	308,13	302,64	291,65	276,26	-	-	-
65	281,75	278,46	272,96	265,27	-	-	-
70	229	226,81	223,51	193,83	-	-	-
75	211,42	218,02	214,72	-	-	-	-
80	188,34	181,75	179,55	-	-	-	-

*  - зона достаточной микронизации зерна.

Из таблицы 1 видно, что для разрушения 50 не микронизированных зерен пшеницы усилие разрушения составляет 702,34 Н. При 10 секундах

микронизации при установке ИК-лампы на высоту 0,1 м оно составляет 688,38, а при установке на высоту 0,04 м – 621,35 Н.

С увеличением времени микронизации усилие на разрушение зерна снижается и при 50 секундной обработке оно соответственно составляет 375,17 Н при 0,1 м высоты и 171,85 Н при 0,04 м. Установлено, что для пшеницы при расстоянии 0,1 м достаточна выдержка 50-55 секунд, при высоте 0,09 , 0,08 и 0,07 м примерно такая же, а при высоте 0,06 м – достаточно 40 секунд, при 0,05 м – 35 секунд, а при 0,04 м – 30 секунд.

Статистический анализ этого уравнения, который включает проверку воспроизводимости эксперимента, определение значимости коэффициентов модели и оценку адекватности полученной модели по критерию Фишера, показал, что данное уравнение достаточно точно описывает исследуемую зависимость, и следовательно, пригодно для практического использования.

В результате проведенного эксперимента (культура–пшеница) была также построена зависимость (рис. 5) усилия разрушения 50 зерен от времени облучения и высоты установки лампы.

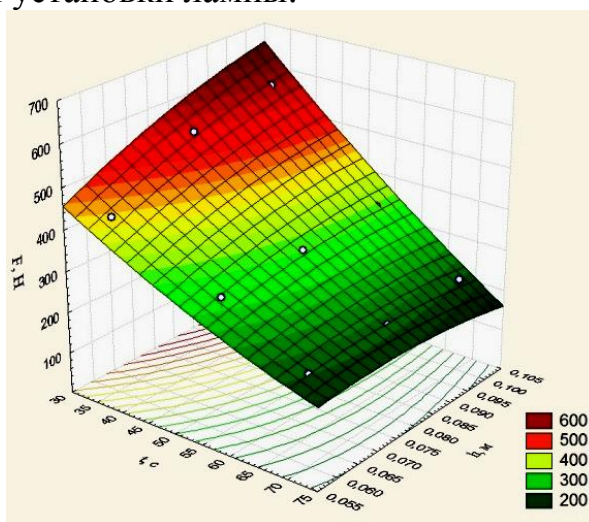


Рисунок 5 – Зависимость усилия разрушения 50 зерен пшеницы от времени микронизации и высоты расположения лампы ИК-излучения

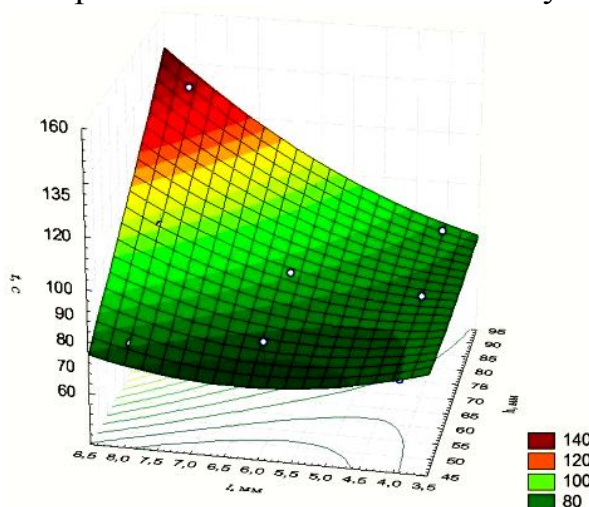


Рисунок 6 – Зависимость влияния толщины кварцевого стекла l и высоты расположения h ИК-излучателя на время микронизации t зерен пшеницы

С увеличением величины зазора между кварцевым стеклом и металлическим кожухом-отражателем время истечения зерна уменьшается

по полиномиальной зависимости второй степени, с увеличением величины зазора с 5 до 15 мм время прохождения уменьшается для овса с 16,1 до 4,08 с, для пшеницы этот показатель варьируется с 16,7 до 3,4 с, для ячменя уменьшится с 29,7 до 9,6 с. Так же происходило прекращение прохождения зерна через зазор для овса от 6 мм и меньше, для пшеницы от 7 мм и для ячменя от 8 мм.

Зависимость на рисунке 5 описывается формулой:

$$F = 139,9326 - 4,3221t + 12374,6883h + 0,0402t^2 - 103,6729th - 33044,1667h^2 \quad (21)$$

где, h – высота расположения ламп ИК-излучателей, м;

t – время микронизации, с;

С помощью этой формулы можно вычислять усилие разрушения пшеницы при любых сочетаниях высоты расположения ламп ИК-излучателей и времени микронизации.

Таким образом, условием достаточности микронизации зерна пшеницы следует считать усилие 350 – 450 Н, требуемое для разрушения 50 зерен. Этот показатель можно применить для оценки критерия достаточности микронизации в производственных условиях, что подтверждается характерным звуком растрескивания зерна.

Исследования влияния толщины кварцевого цилиндра при микронизации фуражного зерна показали, что при изменении толщины кварцевого стекла эффективность тепловой обработки меняется. При этом меняется и усилие разрушения. При чем при толщине кварцевого стекла равной 4 мм наблюдалось неравномерное распределение ИК-лучей на зерно, а при толщине кварцевого стекла равной 6 мм тепловая обработка зерна проходила стабильно по отношению к толщине стекла равной 8 мм. В последнем же случае, где толщина кварцевого стекла равна 8 мм, время на процесс микронизации требуется больше, что ведет к дополнительным энергетическим затратам.

По результатам эксперимента совместного влияния толщины кварцевого стекла l и высоты расположения ИК-излучателя (лампы КГТ-220-1000) на время микронизации t построена зависимость (рис. 6).

В результате статистической обработки экспериментальных данных (рис. 6) получена математическая зависимость:

$$t = 178,1944 - 1,2708 l - 30,9375 h + 0,0021 l^2 + 0,2813 l h + 1,4583 h^2 \quad (22)$$

Из (рис. 6) видно, что параметрами для микронизации при мощности ИК-излучателя 1кВт является толщина кварцевого стекла 6 мм и высота расположения ИК-излучателя 50 мм. Время необходимое для микронизации пшеницы 55 с.

По результатам эксперимента совместного влияния толщины кварцевого стекла l и мощности ИК-излучения N на время микронизации t , построена зависимость (рис. 7). Высота расположения лампы ИК-излучения была принята равной 50 мм.

В результате статистической обработки экспериментальных данных получена математическая зависимость:

$$t = 597,9167 + 25,2083l - 1305N - 0,625l^2 - 17,5lN + 760N^2 \quad (23)$$

Уравнение (23) адекватно описывает исследуемый процесс и, следовательно, пригодно для практического использования.

Из зависимости (рис. 7) видно, что микронизация зерен пшеницы достигается при толщине кварцевого стекла l равной 6 мм, а мощности ИК-излучения N равный 1 кВт.

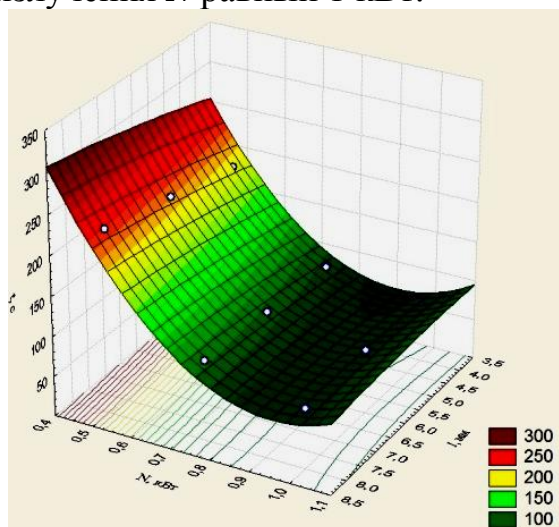


Рисунок 7 — Зависимость эффективности совместного влияния толщины кварцевого стекла l и мощности ИК-излучения N на время t микронизации зерен пшеницы

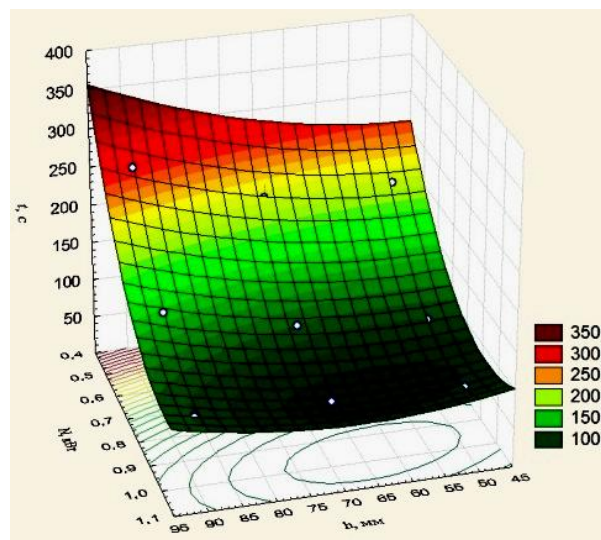


Рисунок 8 — Зависимость эффективности совместного влияния высоты расположения ИК-излучателя h и мощности ИК-излучения N на время t микронизации зерен пшеницы

По результатам эксперимента совместного влияния высоты расположения ИК-излучателя h и мощности ИК-излучения N на время микронизации t , построена графическая (рис. 8).

В результате статистической обработки экспериментальных данных (рис. 8) была получена математическая модель зависимости влияния высоты расположения ИК-излучателя h и мощности ИК-излучения N на время микронизации t :

$$t = 648,2639 - 2,0417h - 1055N + 0,0354h^2 - 2,5hN + 626,6667N^2 \quad (24)$$

Уравнение (24) адекватно описывает исследуемый процесс и, следовательно, пригодно для практического использования.

Из зависимости (рис. 8) видно, что микронизация зерен пшеницы достигается при высоте расположения ИК-излучателя равной 70 мм и мощности ИК-излучения N равной 1 кВт.

Была оценена пропускная способность диска-дозатора. При увеличении площади сечения с $0,241 \times 10^{-3} \text{ м}^2$ до $0,978 \times 10^{-3} \text{ м}^2$ при частоте вращения диска-дозатора равной 118,75 об/мин производительность на пшенице возрастает с 195 до 1141,5; на ячмене с 181,35 до 1061,56; на овсе с 199,48 до 1167,71 кг/ч.

При дальнейшем увеличении площади сечения отверстия диска дозатора пропускная способность интенсивно падает. Наибольшая эффективность процесса обработки зерна в установке для микронизации

зерна достигается в диапазоне площади выходного отверстия диска-дозатора, равной $0,241 \times 10^{-3} - 0,542 \times 10^{-3} \text{ м}^2$.

В пятом разделе «Исследование процесса микронизации фуражного зерна в производственных условиях, результаты внедрения и экономическая эффективность» изложена программа, методика и расчёт экономической эффективности разработанного устройства для микронизации фуражного зерна.

На основании результатов теоретических и лабораторных исследований процесса тепловой обработки с помощью микронизации была разработана техническая документация и изготовлен опытный образец микронизатора.

В результате производственных испытаний разработанного устройства для микронизации фуражного зерна, используемого в технологии подготовки к скармливанию, была подтверждена его конкурентоспособность.

Заключение

1. Анализ современных технологий подготовки фуражного зерна к скармливанию и практический опыт показывают, что технология приготовления комбикорма должна включать микронизацию.
2. На основании лабораторных исследований установлено:
 - коэффициент трения по кварцевому стеклу уменьшается при повышении температуры от 20 до 180 °С, соответственно: у пшеницы с 0,296 до 0,264, у ячменя с 0,401 до 0,253, у овса с 0,334 до 0,284.
 - при повышении температуры от 70 до 150 °С происходит уменьшение коэффициента температуропроводности соответственно: для ячменя с 4,48 до 3,46, для пшеницы с 3,72 до 2,16 и для овса с 4,4 до 2,1 м²/с.
 - при повышении температуры микронизированного зерна от 70 до 150 °С происходит уменьшение теплопроводности соответственно: ячменя с 7,77 до 5,425, пшеницы с 6,31 до 3,301 и овса с 7,149 до 2,994 Вт/(м·°С).
 - теплоёмкость микронизированного зерна при повышении температуры от 70 до 150 °С уменьшается соответственно у ячменя с 1,24 до 1,12, у пшеницы с 1,17 до 1,054 и у овса с 1,186 до 1,041 Дж/(кг·°С).
3. Теоретически установлено, что производительность микронизатора (патент №117268) зависит от радиуса внутреннего цилиндра, его длины, мощности ламп ИК-излучения, времени пребывания фуражного зерна в полости между внутренним цилиндром и кожухом-отражателем.
4. За критерий достаточности микронизации для пшеницы следует принять усилие разрушения ее 50 зерен равным 350 – 450 Н.
5. В результате проведенных лабораторных исследований процесса микронизации фуражного зерна установлено, что:
 - величина зазора для свободного прохождения фуражного зерна между внутренним цилиндром и кожухом-отражателем (патент №117268) должна быть больше для пшеницы 8 мм, для ячменя 9 мм и для овса 7 мм;
 - толщина кварцевого стекла внутреннего цилиндра должна быть 6 мм, а ИК-излучатели должны быть размещены на расстоянии 50 мм от внутренней стенки кварцевого цилиндра;
 - для получения производительности микронизатора на пшенице 0,21 т/ч, на ячмене 0,2 т/ч и на овсе 0,22 т/ч частота вращения диска-дозатора должна

составлять 118,75 об/мин, площадь отверстия на нем $0,241 \times 10^{-3} \text{ м}^2$ и мощность ламп КГТ-220-1000 6 кВт;

6. Установлено, что при микронизации пшеницы с производительностью 0,2-0,22 т/ч, затраты энергии снижены на 14% на тонну микронизированного зерна по сравнению с микронизатором УТЗ-4. Годовой экономический эффект от внедрения микронизатора зерна (патент №117268) при годовом объеме переработки 380,12 т составляет 158669,4 руб.

Перспективы дальнейшей разработки темы:

В дальнейшей перспективе научных исследований необходимо продолжить работу усовершенствования установки для микронизации фуражного зерна под любой вид культур.

Положения диссертации и полученные результаты отражены в следующих основных публикациях:

Статьи в изданиях рекомендованных ВАК РФ

1. Силушин, П.А.. Показатель для оценки достаточности микронизации зерна и определение его величины для пшеницы / Некрашевич В. Ф., Корнилов С.В., Воробьева И.В., Силушин П.А. // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета имени П. А. Костычева. - 2013. - № 2. - С. 66-69.
2. Силушин, П.А. Обоснование формы поверхности кожуха-отражателя цилиндрического микронизатора фуражного зерна / Некрашевич В. Ф., Корнилов С. В., Левин В. Д., Силушин П. А. // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета имени П. А. Костычева. - 2015. - № 2. - С. 68-72.
3. Силушин, П.А. Тепловой баланс установки для микронизации фуражного зерна /Некрашевич В.Ф., Корнилов С.В., Силушин П.А., Глушакова О.Д. // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 2015. - №3. – С. 74-80.

Патенты на изобретения и полезные модели:

1. Патент на полезную модель РФ №132953, МПК А 23 L1/025. Устройство для микронизации зерна / Некрашевич В.Ф., Корнилов С. В., Воробьева И. В., Силушин П. А., Липин В. Д. ; заявитель и патентообладатель Рязанский гос. агротехнол. ун-т. - № 2013112057/13 ; заявл. 18.03.13 ; опубл. 10.10.13, Бюл. № 28. – 2 с. : ил.
2. Патент на полезную модель РФ №117268, МПК А23L1/025. Устройство для микронизации зерна / Силушин П. А., Некрашевич В. Ф., Корнилов С. В., Мамонов Р. А. ; заявитель и патентообладатель Рязанский гос. агротехнол. ун-т. - № 2012103206/13 ; заявл. 30.01.12 ; опубл. 27.06.12, Бюл. № 18. – 3 с. :
3. Патент на полезную модель РФ №152887, МПК А23L1/025. Устройство для микронизации зерна/ Некрашевич В. Ф., Корнилов С. В., Глушакова О.Д., Силушин П. А.; заявитель и патентообладатель Рязанский гос. агротехнол. ун-т. - № 2015103489/13 ; заявл. 03.02.15 ; опубл. 20.06.15, Бюл. № 17. – 3 с. : ил.

В других изданиях:

1. Силушин, П.А., Результаты испытания микронизатора зерна на пропускную способность / Корнилов С. В., Силушин П. А. // Сб. науч. тр. преподавателей и аспирантов РГАТУ : материалы науч.-практич. конф. 2012 года. - Рязань, 2012. - С. 89-92.
2. Силушин, П. А., Результаты определения коэффициента трения зерна в зависимости от температуры / Силушин П. А., Некрашевич В. Ф., Мамонов Р. А. // Сборник научных работ студентов РГАТУ: материалы науч.-практ. конф. 2011 г. - Рязань, 2011. - Т. 1. - С. 230-232.
3. Силушин, П.А., Установка для микронизации зерна / Некрашевич В. Ф., Корнилов С. В., Воробьева И. В., Силушин П. А. // Энергоэффективные и ресурсосберегающие технологии и системы : материалы междунар. науч.-практич. конф., посвящ. 55-летию института механики и энергетики. – Саранск, 2012. – С. 135-139.
4. Силушин, П.А., Установка для микронизации зерна / Некрашевич В. Ф., Корнилов С.В., Силушин П.А. // Сб. науч. тр. по мат. междунар. науч.-практич. конф. "Инновационные технологии и средства механизации в растениеводстве и животноводстве". - Рязань, 2011. - С. 155-159.
5. Силушин, П.А., Результаты определения усилия разрушения зерна в зависимости от времени микронизации / Некрашевич В.Ф., Силушин П.А. // «Молодежь и инновации – 2013» материалы междунар. науч.-практич. конф. молодых ученых. - г. Горки, РБ, 2013. – С. 292-295.
6. Силушин, П.А., Технология приготовления комбикормов с обоснованием параметров и режимов работы микронизатора зерна / Силушин П.А. // «Инновационные методы решения научных и технологических задач Рязанской области» материалы региональной конф. молодых ученых. – Рязань, 2013. – С. 85-86.
7. Силушин, П.А., Технология приготовления комбикормов с обоснованием параметров и режимов работы микронизатора зерна / Силушин П.А. // «Инновационные методы решения научных и технологических задач Рязанской области» материалы второй региональной конф. молодых ученых. – Рязань, 2014. – С. 78-80.

*Бумага офсетная. Гарнитура Times. Печать лазерная
Усл. печ. л. 1 Тираж 100 экз. Заказ № 1295
подписано в печать 26.02.2016*

*Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования*

*«Рязанский государственный агротехнологический университет
имени П.А. Костычева»*

390044 г. Рязань, ул. Костычева, 1

*Отпечатано в издательстве учебной литературы и
учебно-методических пособий*

ФГБОУ ВО РГАТУ

390044 г. Рязань, ул. Костычева, 1.