

На правах рукописи

ДАНИЛОЧКИНА Елена Александровна

**ТЕХНОЛОГИЯ И РАЗРАБОТКА УСТРОЙСТВА ДЛЯ
ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПРОТЕИНА В КОРМАХ
ВЫСОКОЧАСТОТНЫМ МЕТОДОМ**

Специальность 05.20.02 – Электротехнологии и электрооборудование
в сельском хозяйстве

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Мичуринск-наукоград РФ 2012

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

- Научный руководитель:** доктор технических наук, профессор,
почетный работник ВПО
Гришин Иван Иванович
- Официальные оппоненты:** **Шувалов Анатолий Михайлович,**
доктор технических наук, профессор,
ФГБОУ ВПО Мичуринский государственный
аграрный университет / кафедра «Прикладной
механики и конструирования машин»,
профессор
Судник Юрий Александрович,
доктор технических наук, профессор,
ФГБОУ ВПО Московский государственный
агроинженерный университет имени
В. П. Горячкина / кафедра «Информационно-
управляющих систем», заведующий
- Ведущая организация:** Всероссийский научно-исследовательский
институт электрификации сельского
хозяйства (ГНУ ВИЭСХ)

Защита состоится «24» мая 2012 года в 10.00 часов на заседании диссертационного совета ДМ 220.041.03 при Мичуринском государственном аграрном университете по адресу: 393760, г. Мичуринск, ул. Интернациональная, 101, зал заседаний диссертационного совета.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке университета ФГБОУ ВПО МичГАУ, с авторефератом - на сайтах Высшей аттестационной комиссии Министерства образования и науки Российской Федерации vak.ed.gov.ru и ФГБОУ ВПО МичГАУ www.mgau.ru.

Отзывы на автореферат в двух экземплярах, заверенные гербовой печатью, просим направлять ученому секретарю диссертационного совета по адресу: 393760, г. Мичуринск, ул. Интернациональная, 101.

Автореферат разослан «22» апреля 2012 года.

Ученый секретарь
диссертационного совета,
кандидат технических наук, доцент



Михеев Н. В.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА

Актуальность темы диссертационной работы. Одной из основных задач животноводства является эксплуатация породы на уровне близком к пределу генетических возможностей. В частности, при производстве любой животноводческой продукции (молоко, мясо и т.д.) необходима такая система технологических мероприятий, которая позволяла бы получать максимально возможное количество продукции, предопределяемое генетическим аппаратом данной породы при минимально возможных затратах.

Этим вопросом занимались такие ученые как Э. В. Клейменов, Н. А. Асоченская, А.П. Калашников, В.В. Щеглова.

Известно, что одним из важных технологических мероприятий при производстве животноводческой продукции является кормление, требующее при высоких удоях и при высоком мясном производстве экспрессного анализа кормов. Из большого количества параметров, оценивающих питательность кормов, можно выделить два основных: количество сухого вещества и количество сырого протеина. Эти два параметра являются базовыми, на основе которых по формулам регрессии определяют остальные. Таким образом, рацион при эксплуатации породы на уровне генетических возможностей можно составлять, исходя из сырого протеина и сухого вещества, которые необходимо определять экспрессными методами для более оперативного изменения кормов.

Основываясь на анализе методов определения протеина в воздушно-сухих смесях кормов, предлагается использовать электромагнитное поле для косвенного определения протеина в смесях кормов.

Цель. Разработка технологии и устройства экспресс-анализа содержания протеина в воздушно-сухих смесях кормов для повышения продуктивности при содержании сельскохозяйственных животных.

Объект исследования. Система дисперсных воздушно-сухих смесей кормов помещенных в высокочастотное электромагнитное поле, создаваемое катушкой индуктивности.

Предмет исследования. Влияние параметров воздушно-сухих смесей кормов на высокочастотное электромагнитное поле, создаваемое катушкой индуктивности.

Методика исследований. На основании теоретических и экспериментальных исследований построены физическая и математическая модель взаимодействия воздушно-сухих смесей кормов с высокочастотным электромагнитным полем. Оценка точности измерений проводилась на основании среднеквадратичного метода. Результаты определения содержания протеина в воздушно-сухих смесях кормов, полученные с использованием устройства для экспресс-анализа содержания протеина в кормах, сравнивались с результатами, полученными химическим методом (метод Кьельдаля).

Научная гипотеза. Влияние содержания протеина и связанной с ним воды с протеином на высокочастотное электромагнитное поле создаваемое катушкой индуктивности.

Рабочая гипотеза. Измеряя резонансную частоту генератора с пустой капсулой и с помещенным в капсулу образцом определяем параметр, несущий информацию о свойствах молекул воды в дисперсной системе (параметр G).

Научная новизна работы заключается в следующем:

- установлено влияние динамики поступления воды в дисперсные системы органического и неорганического происхождения на высокочастотное электромагнитное поле;

- определена связь между отношением разности частот электромагнитного поля к массе исследуемого образца воздушно-сухой смеси кормов и влажностью исследуемого образца.

- получена зависимость между параметрами высокочастотного электромагнитного поля и содержанием протеина в исследуемом образце воздушно-сухой смеси кормов.

Промышленная ценность. Данный метод позволяет экспрессивно определять содержание протеина в воздушно-сухих смесях кормов, что позволяет быстро решать технологические режимы кормления животных.

На защиту выносятся следующие положения:

- технология и устройство для экспресс-анализа содержания протеина в кормах;
- связь между отношением разности частот электромагнитного поля к массе исследуемого образца воздушно-сухой смеси кормов и влажностью исследуемого образца;
- зависимость между параметрами высокочастотного электромагнитного поля и содержанием протеина в исследуемом образце воздушно-сухой смеси кормов.

Практическая значимость заключается:

- разработана технология и устройство для экспресс-анализа содержания протеина в кормах;
- определена масса навески, высота засыпки, величина размола исследуемого образца для определения протеина в воздушно-сухих смесях кормов.

Апробация работы. Основные положения работы доложены и обсуждены на внутривузовских конференциях Рязанского государственного агротехнологического университета имени П. А. Костычева и на Всероссийском конкурсе на лучшую научную работу среди аспирантов и молодых ученых высших учебных заведений Минсельхоза России в номинации «Агроинженерия» в 2008 году и в 2009 году.

Публикации результатов работы. По теме диссертации опубликовано 5 печатных работ, в том числе 3 в изданиях, рекомендованных ВАК РФ.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, пяти глав, общих выводов, приложения, библиографического списка. Работа содержит 122 страницы основного текста, 46 рисунков и 25 таблиц. Библиографический список включает в себя 77 наименований отечественных и зарубежных авторов.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована необходимость проведения анализа воздушно-сухих кормов на содержание протеина.

Первая глава «ТЕХНОЛОГИЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПРОТЕИНА В КОРМАХ И ЕГО ВЛИЯНИЕ НА ПРОДУКТИВНОСТЬ И РАЗВИТИЕ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ЖИВОТНЫХ» посвящена изучению влияния протеина на продуктивность животного, а также анализу методов определения протеина в воздушно-сухих смесях кормов.

Все методы определения содержания протеина в воздушно-сухих смесях кормов можно разделить на:

1. прямые методы: а) химические; б) нейтронно-активационный анализ;
2. косвенные методы: а) спектрометрические; б) электромагнитные.

Методы определения протеина в биологических объектах разделяют на химические и физические методы. К химическим методам относятся метод Кьельдаля и его модификации, а также метод Дюма и биуретовый метод.

К физическим методам относятся спектрометрические, основанные на поглощении компонентами белков электромагнитных колебаний определенной длины волны, ядерные, электрические и электромагнитные.

Метод ядерного магнитного резонанса (ЯМР) является одним из наиболее эффективных методов исследования твердых и жидких веществ. Он основан на использовании магнетизма атомных ядер анализируемого образца, поэтому получаемая информация исходит из самых глубин материи и позволяет судить о структуре вещества.

Метод ядерного магнитного резонанса является экспрессным, неразрушающим и позволяет определять содержание воды в разнообразных материалах. В сельском хозяйстве метод широко используется при определении влажности и масличности в селекционной работе.

Было установлено, что между влажностью биологических объектов сельскохозяйственного назначения и содержанием протеина существует

определенная связь. Измеряя содержания влаги в биологических системах можно определять массовую долю протеина.

В результате вышеизложенного для разработки технологии и устройства для экспресс-анализа содержания протеина в кормах необходимо решить **следующие задачи:**

- Обоснование влияния воздушной и диэлектрической среды на высокочастотное электромагнитное поле витка катушки индуктивности.
- Разработка и обоснование высокочастотного устройства для экспресс-анализа содержания протеина в кормах.
- Определение массы навески и высоты засыпки исследуемого образца.
- Исследование динамики поступления воды в дисперсные системы.
- Разработка технологии при работе с устройством для экспресс-анализа
- Техничко-экономическое обоснование использования устройства для экспресс-анализа содержания протеина в кормах.

Во второй главе «МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ДИСПЕРСНЫХ СИСТЕМ В КОРМАХ ВЫСОКОЧАСТОТНЫМ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫМ МЕТОДОМ» дан математический метод измерения массовой доли протеина в кормах, где в качестве измерительного элемента используется катушка индуктивности. Приведен расчет электромагнитного поля витка катушки индуктивности над исследуемой диэлектрической средой и в свободном (воздушном) пространстве, а так же представлен выбор оптимальной массы навески исследуемого образца на основе топографии поля и показана возможность применения индукционного высокочастотного метода для измерения физических параметров дисперсных систем.

Расчет электромагнитного поля витка катушки индуктивности позволяет установить, что при внесении воздушной среды и диэлектрической среды в электромагнитное поле, создаваемое катушкой индуктивности, изменяется индуктивная составляющая колебательного контура на величину:

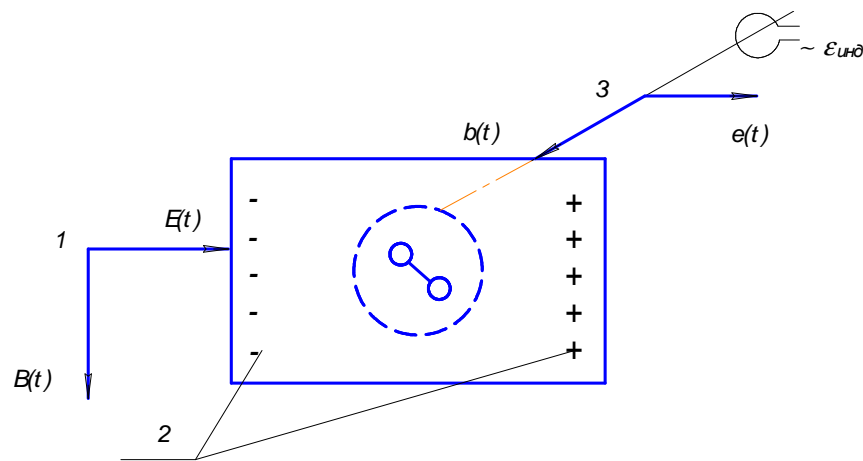
$$L_{\text{вн}} = \pi \cdot \mu_0 \cdot \beta_R \cdot R \int_0^{\infty} J_1(\beta_R y) J_1(\beta_\rho y) \frac{m}{y+m} e^{-2 \cdot \beta_h y} dy -$$

$$- \pi \cdot \mu_0 \cdot \beta_R \cdot R \int_0^{\infty} J_1(\beta_R y) J_1(\beta_\rho y) \frac{y}{y+m} e^{-2 \cdot \beta_h y} dy \dots, \quad (1)$$

где $\pi = 3,14$; μ_0 – магнитная постоянная; $J_1(y\beta_R)$ – функция Бесселя первого порядка; R – радиус витка катушки индуктивности; y , m – математические параметры, используемые для сокращения формулы.

При внесении диэлектрической среды в катушку индуктивности ее индуктивность изменяется на величину $L_{\text{вн}}$. В соответствии с этим будет изменяться резонансная частота контура $f_{\text{обр}} = \frac{1}{2\pi\sqrt{(L+L_{\text{вн}})C}}$.

Чтобы установить основные принципы регистрации диэлектрической проницаемости, рассмотрим, какие эффекты проявляются при помещении диэлектрика в переменное электромагнитное поле 1. В этом случае в любой момент времени возможны два эффекта (рисунок 2):



1 – переменное электромагнитное поле; 2 – связанные заряды; 3 – вторичное электромагнитное поле.

Рисунок 2. Воздействие электромагнитного поля на полярный диэлектрик.

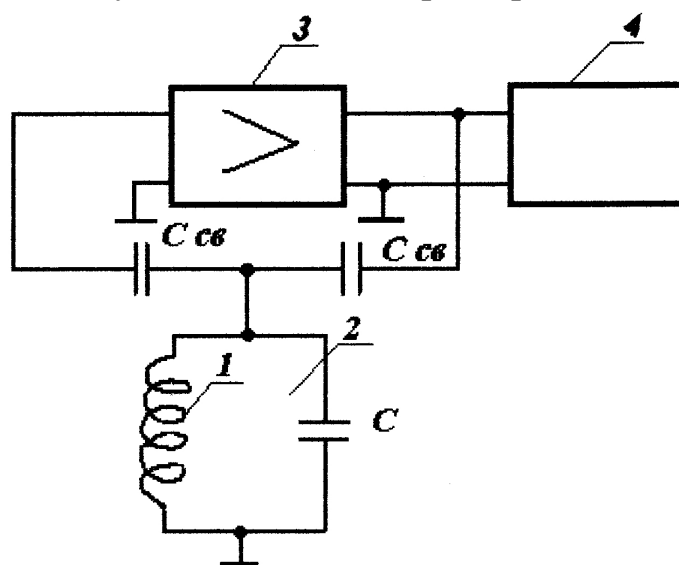
– на поверхности диэлектрика периодически должны возникать связанные заряды 2, поверхностной плотность которых определяется усредненной диэлектрической проницаемостью исследуемого вещества;

– вследствие колебания связанных зарядов (возникновение токов смещения) в окружающей среде распространяется вторичное (наведенное) электромагнитное поле 3, величина которого также определяется диэлектрической проницаемостью.

На основе первого эффекта сконструировано большинство приборов для измерения влажности сыпучих материалов.

На основе второго эффекта разработаны приборы и устройства для измерения относительной влажности семян.

Для регистрации вторичного электромагнитного поля используют измерительную установку, блок-схема которой приведена на рисунке 3.



1 – катушка индуктивности; 2 – резонансный контур; 3 – усилитель; 4 – частотомер.

Рисунок 3. Блок-схема установки для регистрации вторичного электромагнитного измерения.

В измерительную ячейку 1 (катушку индуктивности) составляющую часть резонансного контура 2, включенного в цепь обратной связи усилителя 3 помещается исследуемый образец, что приводит к изменению индуктивности колебательного контура, а, следовательно, к изменению частоты, которая измерялась частотомером 4.

В третьей главе «УСТАНОВКА ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ БИОЛОГИЧЕСКИХ И ФИЗИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ДИСПЕРСНЫХ СИСТЕМ

ВЫСОКОЧАСТОТНЫМ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫМ ПОЛЕМ» представлено конструктивное решение элементов лабораторного образца прибора. Приведены логическая схема, блок-схема и принципиальная схема опытной установки для экспресс-анализа содержания массовой доли протеина в воздушно-сухих смесях кормов.

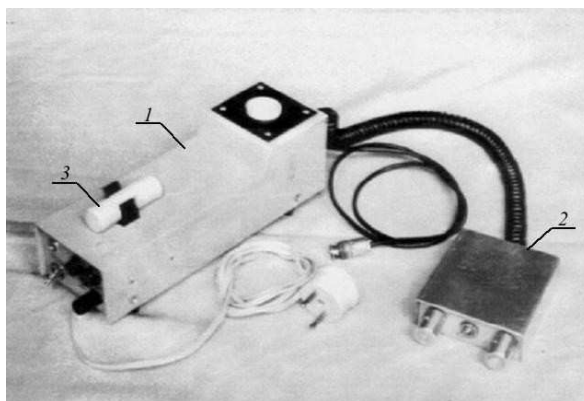
В опытную установку для экспрессного определения протеина входят те же элементы и блоки, как и в установку для определения влажности, то есть колебательный контур (индуктивно-емкостной LC), усилитель, частотомер.

В качестве частотомера, блока для измерения резонансной частоты, использован любой промышленный частотомер с верхним пределом измерения до 10 МГц.

С целью уменьшения нестабильности частоты генератора из-за изменения относительной влажности и температуры окружающей среды, каркас катушки колебательного контура изготавливается из фторопласта, намотка катушки осуществляется медным проводом диаметром 1 мм с лаковой изоляцией.

При выборе усилителя основное внимание обращалось на достижение его устойчивости к самовозбуждению (при отключении цепи обратной связи) с учетом достаточно большого общего усиления по напряжению $K_y > 10^4$.

Весьма малая связь усилителя с колебательным контуром позволяет получить высокую стабильность частоты генерируемых колебаний, определяемую параметрами контура. На частоте около 5 МГц была достигнута стабильность не хуже 10^{-6} за одну минуту. При эксплуатации данной установки выяснилось влияние внешних электромагнитных помех на выносной контур LC, а так же уход частоты, то есть каждое новое измерение начиналось в другой резонансной частоты, чем предыдущее. Для устранения этих недостатков была применена установка с монтажом контура LC в корпусе усилителя и с подстройкой частоты. Общий вид такой модифицированной установки показан на рисунке 4.



1 - усилитель высокочастотного сигнала; 2 - блок изменения резонансной частоты; 3 – капсула для образца.

Рисунок 4. Фотография установки с экранированным колебательным контуром.

В четвертой главе «ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ДИСПЕРСНЫХ СИСТЕМ ПО ДИНАМИКЕ ПОСТУПЛЕНИЯ ВОДЫ» проводилось исследование динамики поступления воды в дисперсную систему органического и неорганического происхождения, частицы которой не растворимы в воде, исследование динамики поступления воды в дисперсную систему неорганического происхождения, частицы которой растворимы в воде, а так же проводился анализ полученных экспериментальных результатов по динамике поступления воды в дисперсные системы различной природы, а так же определена масса навески и высота засыпки исследуемого образца.

На основании полученных результатов для всех дисперсных систем различной природы, экспериментально установлена особенность поступления воды в такие дисперсные системы независимо от их природы. По графику на рисунке 5 заметно, что с увеличением влажности предварительно обезвоженных дисперсных систем, происходит увеличение параметра несущего информацию о свойствах молекул воды в дисперсной системе (параметра $G = \Delta f / f \cdot m$) до какого-то определенного значения массовой доли влаги (например: для речного песка 4%, для комбикорма (10-15)%, для NaCl – 3,5%).

Дальнейшее увеличение влажности приводит к уменьшению параметра G . Для речного песка это уменьшение происходит в пределах 5,5% массовой доли влаги для фракции $d \leq 0,125$ мм, в пределах 4% - для фракции $0,125 \text{ мм} \leq d \leq 0,315$ мм и для фракции $0,315 \text{ мм} \leq d \leq 0,4$ мм и в пределах 2,5% для фракции $d \geq 0,4$ мм.

Для комбикорма уменьшение параметра G происходит в пределах 14% массовой доли влаги для фракции $d \leq 0,125$ мм, в пределах 5% для фракции $0,125 \text{ мм} \leq d \leq 0,4$ и в пределах 2,5% для фракции $d \geq 0,4$ мм

Такое уменьшение параметра G прежде всего объясняется тем, что на поверхности частиц дисперсной среды образуется слой молекул воды, которые жестко связываются с этой поверхностью и, как следствие этого, они обладают значительно меньшей степенью подвижности, чем в свободном объеме.

Все полученные экспериментальные результаты по исследованию динамики поступления воды в дисперсную систему различной природы анализировались на среднеквадратичную погрешность. Для всех дисперсных систем, независимо от их природы установлено, что рассчитанная погрешность из 10 параллельных измерений не превышает эффект изменения параметра G . Например, для речного песка абсолютная погрешность параметра G в среднем для любой исследуемой влажности не превышает $\Delta\sigma = \pm 2,2\%$, для органической дисперсной системы (комбикорм для КРС) абсолютная погрешность не превышает 2%, а для дисперсной системы неорганического происхождения, частицы которой растворяются в воде (NaCl) 2,8 %. Таким образом, с большой вероятностью можно считать, что данный эффект значительно превышает рамки погрешности и его можно считать природным явлением.

Наибольший интерес представляет рассмотрение поступления воды в дисперсные системы различной природы для одной и той же фракции, например для фракции $d \leq 0,215$ мм. Данные экспериментальных результатов представлены на рисунке 5. Из графиков видно, что наблюдаются значительные особенности в динамике поступления воды в дисперсную

систему неорганического происхождения, частицы которой нерастворимы в воде (речной песок) и частицы которой растворимы в воде (соль NaCl).

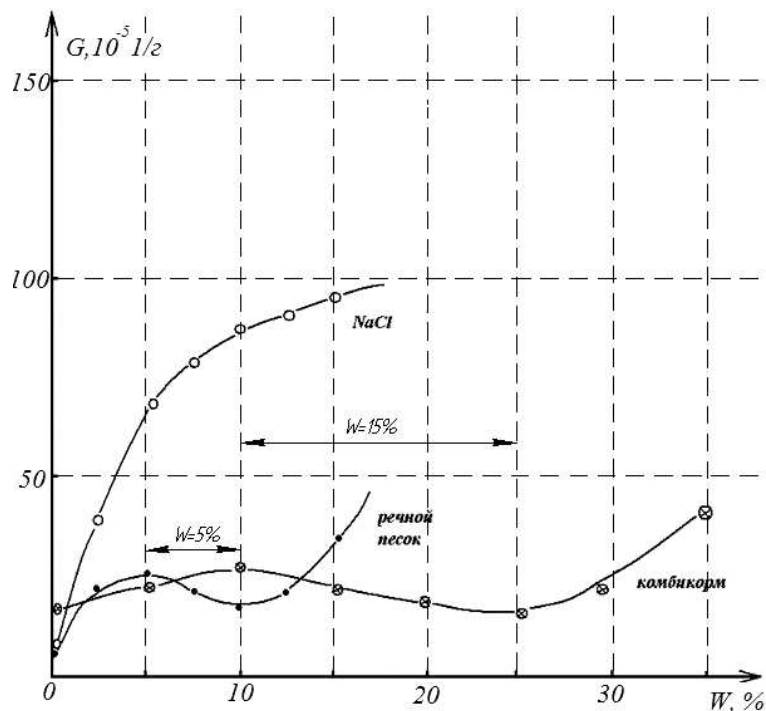


Рисунок 5. Зависимость параметра G от влажности, вводимую в дисперсные системы различной природы для фракции $d \leq 0,215$ мм.

Исходя из графика, представленного на рисунке 5 можно предположить, что при поступлении воды в дисперсную систему неорганического происхождения, прежде всего, идет образование поверхностной плёнки воды на границе раздела «связанная вода» и поверхность частицы, и на этом процесс заканчивается.

При дальнейшем поступлении воды в дисперсную систему идёт простое накопление жидкой фракции и при образовании поверхностного слоя дальнейшее увеличение влажности не приводит к увеличению толщины водной пленки. В данном случае количество влаги, идущей на образование поверхностной плёнки, составляет величину, порядка 5% от массовой доли образца.

Для органической системы на основании графика на рисунке 5 считаем, что частицы данной органической системы при поступлении воды, прежде всего, образуют слой поверхностно связанной воды и затем молекулы воды

начинают вступать в биохимическую реакцию с биологическими макромолекулами. Процесс образования связанной воды для дисперсных систем органического происхождения происходит при значительно большем количестве влаги, вводимой в систему. Из рисунка 5 видно, что количество влаги, идущей на образование водной плёнки, связанной с поверхностью частиц дисперсной среды органического происхождения, составляет 15% от массовой доли.

В пятой главе «РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ И ХОЗЯЙСТВЕННЫЕ ИСПЫТАНИЯ УСТРОЙСТВА ДЛЯ ЭКСПРЕСС-АНАЛИЗА СОДЕРЖАНИЯ ПРОТЕИНА В ВОЗДУШНО СУХИХ СМЕСЯХ КОРМОВ, ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ДАННОГО УСТРОЙСТВА» описана технология измерения массовой доли протеина, описывается методика определения содержания протеина в двухкомпонентных и многокомпонентных смесях, и приведено технико-экономическое обоснование использования устройства для экспресс-анализа содержания протеина в кормах.

На основании ранее проведенных исследований оценки точности измерения параметра G , необходимо перед измерениями проведение следующих технологических операций:

1. Размол исходных образцов и выделение фракций с размерами частиц менее 0,315 мм.
2. Для удаления меж частичной влаги производят прогрев исследуемого образца до температуры порядка 60 °С.
3. Для получения постоянного параметра G необходимо брать навеску массой 3г.

Необходимость поддержания постоянной относительной влажности среды, в которой перед измерениями находятся воздушно-сухие смеси, поясняются графиками на рисунке 6, которые получены для трех значений относительной влажности.

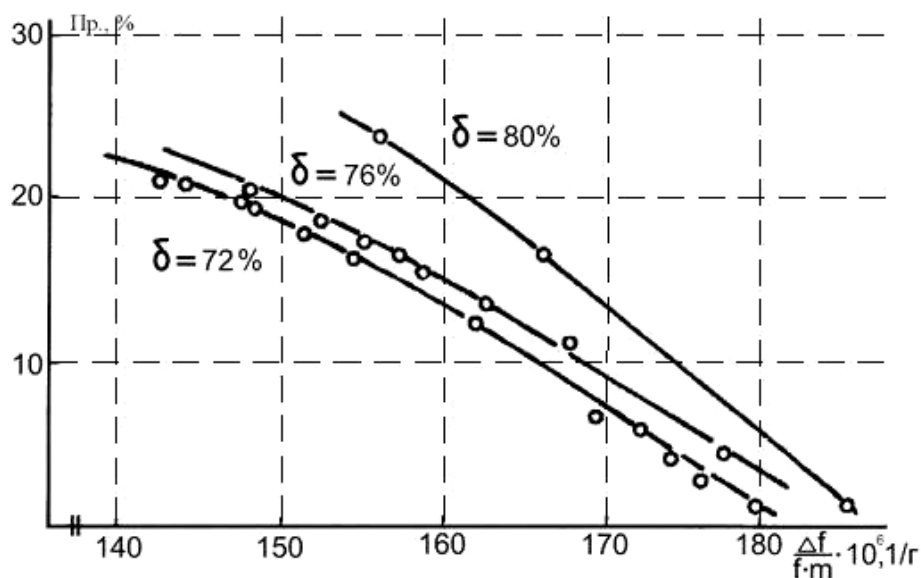


Рисунок 6. Графики трех значений относительной влажности.

Влажная окружающая среда проникает в пространство между частицами воздушно-сухой смеси и приводит к несовпадению градуировочных графиков, а это в свою очередь дает значительную ошибку в определении массовой доли протеина в воздушно-сухой смеси.

Так как предлагаемый метод определения массовой доли белка в семенах и протеина в кормах является косвенным, была проведена проверка данного метода на так называемых «слепых образцах», которые были представлены и аттестованы Всероссийским научно-исследовательским и проектно-технологическим институтом химизации сельского хозяйства (ВНИИПТИХИМ). Было приготовлено три вида «слепых образцов».

В качестве первой партии была представлена воздушно-сухая смесь «пшеница – крахмал», в качестве второй «пшеница – фасоль» и в качестве третьей «мясо – яйцо – зерно». Все образцы данных партий были аттестованы химическим методом, т. е. методом Кьельдаля. В первой партии массовая доля протеина изменялась от 15,9% до 0,4%, во второй от 23,2% до 15,9%, в третьей от 0,4% до 95%.

В таблице 1 и на рисунке 7 показаны экспериментальные результаты по исследованию определения протеина в первой партии. Исходя из анализа полученных экспериментальных результатов, установили, что данный метод

позволяет косвенным способом определять содержание белка в семенах или протеина в кормах при наличии градуировочного графика.

Таблица 1. Экспериментальные результаты по исследованию определения протеина.

Вариант	Соотношение пшеница – крахмал, %	Массовая доля протеина, %	$\Delta G, 10^{-6}, 1/\Gamma$
12	100 - 0	15,937	154,9
15	90 - 10	14,8	159,34
17	80 - 20	13,06	163,41
13	70 - 30	11,87	162,53
18	60 - 40	10,5	168,26
14	50 - 50	8,06	170,8
16	40 - 60	7,187	172,7
20	30 - 70	5,125	176,54
22	20 - 80	3,875	178,08
19	0 - 100	0,437	179,96

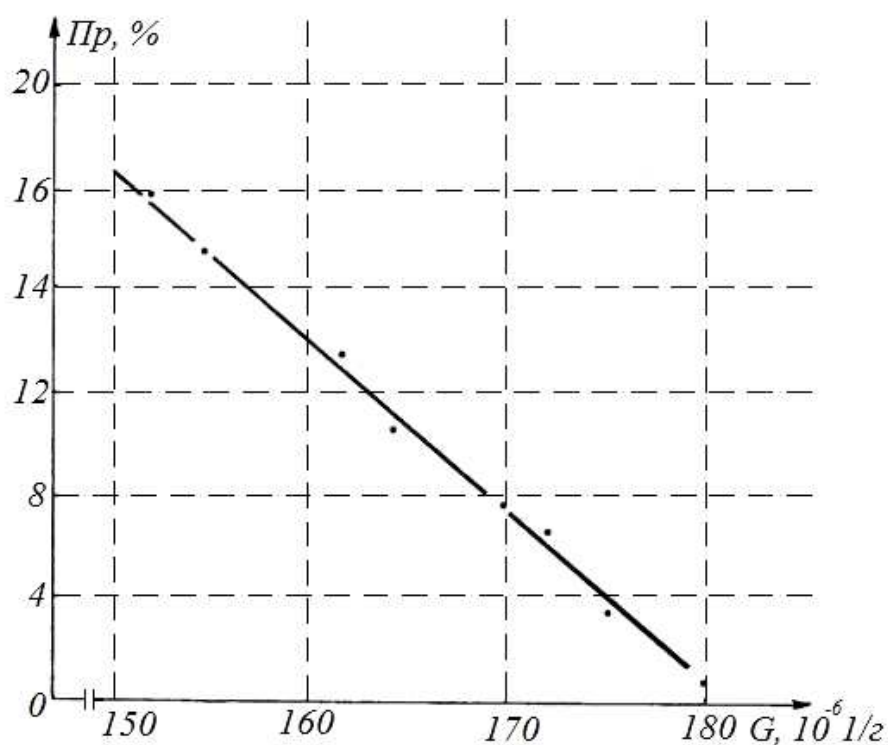


Рисунок 7. Зависимость параметра G от содержания протеина в двухкомпонентной воздушно-сухой смеси «Пшеница – крахмал».

Для исследования возможности использования высокочастотного метода в качестве экспресс-анализа содержания протеина в многокомпонентных воздушно-сухих смесях были приготовлены образцы разной укладки. Процентное содержание компонентов, входящих в шесть образцов приведены в таблице 2. Одновременно в лаборатории анализа качеств кормов опытного производственного хозяйства в Подвязье химическим методом определялось содержание протеина, и на основании этих данных была получена кривая, представленная на рисунке 8.

Таблица 2. Экспериментальные результаты по исследованию содержания протеина в многокомпонентных воздушно-сухих смесях.

№ варианта	Состав смеси	Протеин, %	$(\Delta f / (f \cdot m)) \cdot 10^6$, г
1	Силос комбинированный	21,5	110,5
2	Тр. клевер 12%, свекла 60%, зерносесь 14%, тр. мука 14%	18,3	114,5
3	Тр. клевер 20%, свекла 50%, зерносесь 14%, тр. мука 13%, картофель сырой 13%	17,4	115,5
4	Тр. клевер 20%, свекла 50%, зерносесь 15%, тр. мука 15%	16,9	116,0
5	Тр. клевер 12%, свекла 60%, зерносесь 14%, тр. мука 14%	16,2	117
6	Тр. клевер 20%, свекла 40%, зерносесь 14%, тр. мука 13%, картофель сырой 13%	14,5	122,1

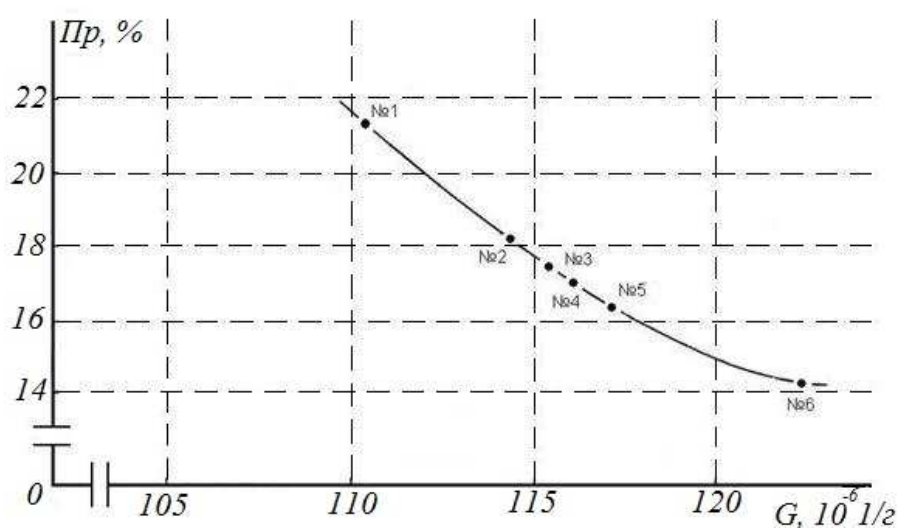


Рисунок 8. Зависимость параметра G от содержания протеина в воздушно-сухих многокомпонентных смесях кормов.

Таким образом, на основании обоснованных технологических операций экспериментально установлена возможность измерения массовой доли протеина с помощью высокочастотного электромагнитного поля как в двухкомпонентных воздушно-сухих смесях кормов, так и в многокомпонентных смесях кормов.

Оценка точности метода проводилась на основании ГОСТ 8.505-84 в соответствии с методикой нормативов точности в проектах стандартов на сырье и материалы и на методы испытаний их химического состава и физико-химических свойств.

Для воздушно-сухих смесей с высоким содержанием протеина (21%) относительная случайная ошибка $\alpha = 0,7\%$, с низким содержанием протеина ошибка составляет 0,8%, т. е. относительная ошибка метода не превышает 1%.

Для подтверждения эффективности метода по определению количества протеина в кормах сельскохозяйственных животных и необходимости использования разработанного устройства для экспресс-анализа количества протеина в кормах, представленного в диссертации было выбрано хозяйство ООО «Заря» Рязанского района.

Для опыта по принципу групп-аналогов были сформированы две группы опытная и контрольная по 10 голов в каждой. Основной рацион кормления, применяемый в контрольной группе, несмотря на соответствующее норме количество энергии и сухого вещества, обеспечивал всего лишь 640 г прироста живой массы в сутки, что недостаточно для откорма. Оптимизация рациона по переваримому протеину привела к повышению скорости роста животных опытной группы почти на 10,3%. Таким образом, к концу опыта их живая масса превосходила показатели животных контрольной группы более чем на 3%. Соответственно скорости роста в опытной группе на 10,3% больше было получено и валового прироста массы, что составляет 119 кг. Данные получены с высокой степенью достоверности ($P \leq 0,001$).

Таблица 3. Экономическая эффективность использования устройства для экспресс-анализа содержания протеина в кормах в период откорма (в расчете на 1 голову)

Показатели	Группы	
	контрольная	опытная
Получено прироста, кг	115,2	127,1
Получено дополнительного прироста, кг	-	11,9
Себестоимость 1 кг прироста, руб.	40,17	36,80
Себестоимость полученного прироста, руб.	4627,58	4677,3
Цена реализации 1 кг мяса, руб.	58,40	58,40
Стоимость прироста по цене реализации, руб.	6727,7	7422,6
Стоимость дополнительного прироста, руб.	-	695,0
Прибыль, руб.	2100,0	2745,3
Получено дополнительной прибыли, руб.	-	645,3
Срок окупаемости	0,04 года	

Учитывая результаты испытаний, устройство для экспресс-анализа содержания протеина в воздушно-сухих смесях кормов рекомендовано к использованию и к серийному производству. ООО «Энергоспецоборудование» г. Рязань использует результаты приведенных исследований при разработке серийного образца.

ОБЩИЕ ВЫВОДЫ

1. Анализ и систематизация известных технических решений для определения содержания протеина в воздушно-сухих смесях кормов сельскохозяйственных животных, показал, что использование химических и ядерных методов в лабораторных условиях, позволяет определять содержание протеина со стопроцентной точностью.

2. Исследование высокочастотного электромагнитного поля, создаваемого витком катушки индуктивности, при внесении воздушной среды и диэлектрической среды показали, что изменяется только индуктивная составляющая колебательного контура.

3. Экспериментальными исследованиями было установлено, что разработанное устройство позволяет обеспечивать устойчивую генерацию в диапазоне от 1,5 МГц до 10 МГц с нестабильностью частоты 10^{-6} .

4. На основе топографии поля установили необходимую для исследования массу навески образца 2,5 г. до 4,5 г. И глубину заполнения ампулы в пределах от 5 мм до 9 мм.

5. Исследования динамики поступления воды в дисперсные системы позволили определить параметр G, как параметр, несущий информацию о свойствах молекул воды в дисперсной системе.

Параметр G, как параметр, несущий информацию о свойствах молекул воды в дисперсной системе для органических соединений (комбикорм) с размером фракции 0,215 мм и при влажности от 0% до 40% составляет величину от $17,9 \cdot 10^{-5}$ 1/г до $46 \cdot 10^{-5}$ 1/г.

Для неорганических соединений (речной песок) с размером фракции 0,215 мм и при влажности от 0% до 17,5% составляет величину от $5,8 \cdot 10^{-5}$ 1/г до $39,3 \cdot 10^{-5}$ 1/г.

6. По результатам исследования разработана технология для определения протеина в кормах, устройство для экспресс-анализа содержания протеина в воздушно-сухих смесях кормов с погрешностью менее 1 % для фракции с размером частиц менее 0,315 мм.

7. Для воздушно-сухих смесей с высоким содержанием протеина (21%) относительная случайная ошибка $\alpha = 0,7\%$, с низким содержанием протеина ошибка составляет 0,8%, т. е. относительная ошибка метода не превышает 1%.

8. Техничко-экономический анализ показал дополнительную прибыль от применения устройства для экспресс-анализа содержания протеина на примере ООО «Заря» Рязанского района, которая составляет 645,3 рублей на одну голову, в целом по хозяйству прибыль от применения устройства составляет 193 590 рублей, срок окупаемости прибора составляет 0,04 года. ООО «Энергоспецоборудование» г. Рязань использует результаты проведенных

исследований при разработке серийного образца устройства для экспресс-анализа содержания протеина в воздушно-сухих смесях кормов.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИСЕРТАЦИИ ОТРАЖЕНО В СЛЕДУЮЩИХ ПУБЛИКАЦИЯХ

Публикации в изданиях, рекомендованных ВАК

1. Данилочкина Е. А. Исследование динамики поступления воды в дисперсную систему / И. И. Гришин, Э. В. Клейменов, Е. А. Данилочкина, И. И. Тришкина // Техника в сельском хозяйстве. – 2007. – № 5. с. 29-32.
2. Данилочкина Е. А. Измерение массовой доли протеина в воздушно-сухих смесях с помощью электромагнитного поля / И. И. Гришин, Э. В. Клейменов, Е. А. Данилочкина // Техника в сельском хозяйстве – 2009. – № 6. с. 31-33.
3. Данилочкина Е. А. Исследование массовой доли протеина в многокомпонентных воздушно-сухих смесях кормов с помощью электромагнитного поля / И. И. Гришин, Э. В. Клейменов, Е. А. Данилочкина // Техника в сельском хозяйстве – 2010. – № 5. с. 13-15.

Публикации в других изданиях

1. Данилочкина Е. А. Расчет электромагнитного поля плоской катушки на переменном токе высокой частоты, применяемой для исследования биологических объектов / Э. В. Клейменов, Е. А. Данилочкина, И. И. Тришкина, Е. В. Кирилина // Сборник научных трудов, посвященный 55-летию инженерного факультета, Рязань, 2005. с. 154-156.
2. Данилочкина Е. А. Градиентное магнитное поле / Э. В. Клейменов, Е. А. Данилочкина // Ж. Вестник ФГОУ ВПО РГАТУ, №2, 2011. с. 64-68.