

На правах рукописи

Адошев Андрей Иванович

**ФЕРРОВИХРЕВОЙ АППАРАТ
ДЛЯ ОБЕЗЗАРАЖИВАНИЯ ЖИДКОГО СВИНОГО НАВОЗА**

Специальность 05.20.02 - Электротехнологии и электрооборудование
в сельском хозяйстве

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Ставрополь - 2011

Работа выполнена в Федеральном государственном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Ставропольский государственный аграрный университет» (ФГОУ ВПО СтГАУ)

Научный руководитель: кандидат технических наук,
доцент
Ивашина Александр Валентинович

Официальные оппоненты: доктор технических наук,
профессор
Воронин Сергей Михайлович

кандидат технических наук,
доцент
Жданов Валерий Георгиевич

Ведущая организация: Открытое акционерное общество
«Электроавтоматика»,
г. Ставрополь

Защита состоится «__» _____ 2011 г. в __ часов на заседании диссертационного совета ДМ 220.001.01 при Федеральном государственном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Азово-Черноморская государственная агроинженерная академия» (ФГОУ ВПО АЧГАА) по адресу: 347740, г. Зерноград Ростовской области, ул. Ленина, 21 (ауд. 201, корпус 5).

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГОУ ВПО АЧГАА.

Автореферат разослан «__» _____ 2011 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета,
доктор технических наук,
профессор

Н.И. Шабанов

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы диссертационной работы состоит в том, что производство свиноводческой продукции на промышленной основе, сопровождающееся эксплуатацией свиноводческих ферм, вызывает серьезные проблемы, связанные с накоплением и использованием больших объемов жидкого навоза.

Технология переработки и последующей утилизации навоза в значительной мере определяется способом его уборки из свиноводческих помещений. При наиболее распространенном на фермах гидросмыве навоза происходит значительное разбавление его водой и превращение в малоконцентрированные навозные стоки, объем которых в пять и более раз превышает количество исходного навоза и, соответственно, затраты на его обработку. При этом существенно увеличиваются также сроки выживания в нем возбудителей инфекционных болезней и яиц гельминтов в таких количествах, что становится необходимым постоянное обеззараживание всего получаемого на ферме навоза независимо от ветеринарного благополучия хозяйства. Традиционные способы хранения и использования подстилочного навоза оказываются неприемлемыми для жидкого навоза, получаемого на свинофермах, не только по экономическим, но и по санитарно-гигиеническим соображениям в связи с угрозой загрязнения окружающей среды и распространения инфекций среди людей и животных.

Важным для практики является выбор наиболее эффективного метода обеззараживания навоза и наиболее простого устройства его осуществления. В связи с этим необходимо создание установок, позволяющих проводить обеззараживание жидкого навоза в необходимых количествах.

Есть основание полагать, что наиболее перспективным методом обеззараживания жидкого свиного навоза является воздействие вихревым слоем ферромагнитных частиц.

Целью данной работы является обоснование параметров ферровихревого аппарата, обеспечивающего эффективное обеззараживание жидкого свиного навоза в вихревом слое ферромагнитных частиц.

Для достижения поставленной цели необходимо **решить следующие задачи:**

- теоретически обосновать конструкцию и экспериментально проверить параметры ферровихревого аппарата для обеззараживания жидкого свиного навоза;
- установить зависимость между основными факторами, воздействующими на процесс обеззараживания жидкого свиного навоза, и результатом обеззараживания;
- исследовать влияние вихревого слоя ферромагнитных частиц на жидкий свиной навоз и обосновать применение вихревого слоя ферромагнитных частиц для обеззараживания жидкого свиного навоза;
- провести экономическую оценку применения ферровихревого аппара-

та для обеззараживания жидкого свиного навоза.

Объектом исследований является процесс обеззараживания жидкого свиного навоза в ферровихревом аппарате.

Предметом исследований является зависимость числа колоний общей микробной обсемененности жидкого свиного навоза от параметров и режимов работы ферровихревого аппарата.

Методы исследований базируются на элементах теории проектирования электрических машин аксиальной и радиальной конструкции, методах регрессионного анализа с применением современного программного обеспечения и компьютерной техники. При экспериментальных исследованиях использованы микробиологические методы по выживаемости санитарно-показательных (индикаторных) микроорганизмов, инструкции по лабораторному контролю очистных сооружений на животноводческих комплексах. Эксперименты проводились на разработанном стенде для исследования электромагнитных характеристик ферровихревого аппарата.

Научную новизну результатов исследований представляют:

- уточненная методика расчета параметров аксиального ферровихревого аппарата для обеззараживания жидкого свиного навоза;
- установленные зависимости количества колоний микроорганизмов, оставшихся в навозе после обеззараживания в ферровихревом аппарате, от массы, конфигурации и размеров ферромагнитных частиц;
- научно обоснованные параметры ферровихревого аппарата аксиального исполнения с применением вихревого слоя ферромагнитных частиц.

Практическую значимость имеют:

- разработанный ферровихревой аппарат для обеззараживания жидкого свиного навоза (патент, полезная модель), обеспечивающий равномерное магнитное поле в рабочей зоне и повышенную магнитную индукцию;
- полученные регрессионные модели результата обеззараживания при изменении массы ферромагнитных частиц в рабочей зоне ферровихревого аппарата (во время работы аппарата), диаметра ферромагнитных частиц и коэффициента отношения длины ферромагнитной частицы к ее диаметру, позволяющие проводить инженерные расчеты параметров аппарата.

На защиту выносятся:

- зависимость числа колоний микроорганизмов в жидком свином навозе после обеззараживания его в ферровихревом аппарате от массы, конфигурации и размеров ферромагнитных частиц;
- параметры и конструкция ферровихревого аппарата аксиального исполнения с применением вихревого слоя ферромагнитных частиц, для обеззараживания жидкого свиного навоза;
- методика обоснования основных электромагнитных параметров ферровихревого аппарата для обеззараживания жидкого свиного навоза;
- уравнение регрессии результата обеззараживания, при изменении массы ферромагнитных частиц в рабочей зоне ферровихревого аппарата (во

время работы аппарата), диаметра ферромагнитных частиц и коэффициента отношения длины ферромагнитной частицы к ее диаметру.

Реализация результатов работы. Ферровихревой аппарат для обеззараживания жидкого свиного навоза внедрен в СПК «колхоз «Терновский»» Труновского района Ставропольского края для обеззараживания жидкого навоза на свинофермах хозяйства.

Уточненная методика расчета параметров ферровихревого аппарата применяется в учебном процессе кафедры ЭиЭЭО ФГОУ ВПО СтГАУ при изучении дисциплины «Электрические машины», ферровихревой аппарат применяется в учебном процессе кафедры ПЭЭСХ ФГОУ ВПО СтГАУ при изучении дисциплины «Электротехнология».

Апробация работы. Основные положения диссертации докладывались на научно-практических конференциях ФГОУ ВПО СтГАУ (2005...2010 г.г.), Российской научно-практической конференции «Физико-технические проблемы создания новых экологически чистых технологий в агропромышленном комплексе» СтГАУ (2005 г.). По результатам исследований опубликовано 11 статей, в том числе 2 в журналах ВАК, получен 1 патент РФ на изобретение и 1 патент РФ на полезную модель.

Структура и объем диссертации. Диссертация включает: введение, пять глав, общие выводы, список литературы и приложения. Работа изложена на 190 страницах, включая 50 рисунков, 8 таблиц, библиографический список из 134 наименований и 32 страниц приложений.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы, цель, задачи и методы исследований. Сформулированы научная и рабочая гипотезы диссертационного исследования, краткое содержание работы, научная новизна и практическая значимость полученных результатов, а также основные научные положения, выносимые на защиту. Приведены сведения о внедрении результатов исследований, апробации, публикациях, структуре и объеме работы.

В первой главе «Переработка жидкого свиного навоза» рассмотрены биологические, химические и физические методы обеззараживания жидкого свиного навоза (или его отдельных фракций).

Есть основание полагать, что наиболее перспективным направлением является обработка жидкого навоза магнитным полем, которая дает высокий технико-экономический эффект, так как отпадает необходимость в реагентном хозяйстве, сокращается объём осадка и облегчается эксплуатация очистных сооружений. Причина положительных эффектов объясняется изменением структуры воды и взвеси под действием магнитного поля.

Добавление ферромагнитных частиц, примесей или использование реагентов, обладающих ферромагнитными свойствами, значительно улучшает результаты обработки жидкого навоза в магнитном поле. Ферромагнитные частицы по своей природе отличаются от примесей, находящихся в жидком

навозе свиноводческих предприятий. Воздействие магнитного поля на них вызывает дополнительные изменения в водных системах, связанных в первую очередь с созданием однородного поля внутри электромагнитного устройства.

Если ферромагнитные частицы поместить в реакционную камеру, помещенную в устройство, создающее в рабочей зоне этой камеры вращающееся электромагнитное поле, то они приходят в сложное движение, создавая вихревой слой.

Реакционная камера аппаратов вихревого слоя (рисунок 1) представляет собой трубу из немагнитного материала 1, установленную в расточке индуктора цилиндрической формы 2, помещенного в корпус 3. При помощи индуктора 2 в рабочей камере генерируется вращающееся электромагнитное поле. Рабочими телами являются ферромагнитные частицы 5, вращающиеся под воздействием поля в рабочей зоне сменной вставки из немагнитного материала 4.

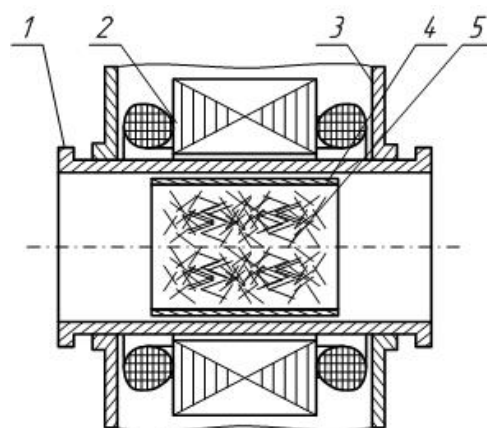


Рисунок 1 - Обобщенная конструкция аппаратов вихревого слоя

Существующие цилиндрические аппараты (аппараты вихревого слоя, аппараты и установки активации процессов) позволяют интенсифицировать целый ряд технологических процессов за счет комплексного воздействия на обрабатываемые вещества интенсивного перемешивания и диспергирования, акустической и электромагнитной обработки, трения, высоких локальных давлений, электролиза.

Недостатками аппаратов вихревого слоя, а также аппаратов и устройств, созданных на их основе для обеззараживания жидкого навоза, являются: низкие энергетические показатели из-за большого немагнитного зазора по диаметру индуктора; электромагнитное поле в рабочей зоне неравномерно - индукция внутри рабочей зоны у ее стенок значительно больше, чем вдоль центральной оси, что ухудшает качество обеззараживания навоза и способствует потерям энергии; концентрация ферромагнитных частиц, а, следовательно, и качество обеззараживания навоза по радиусу рабочей зоны неоднородны - максимум у ее стенок и минимум вдоль ее оси, что требует применения нескольких аппаратов, для обеззараживания навоза в потоке; интенсивный износ ферромагнитных частиц и внутренней поверхности рабочей зоны.

В связи с этим возникла необходимость создания аппарата, позволяющего устранить указанные недостатки, при равной производительности и сниженных массе, габаритах и стоимости устройства.

Во второй главе «Теоретическое исследование ферровихревого аппа-

рата» проведено обоснование конструкции создаваемого ферровихревого аппарата, дано описание устройства и принципа его работы, обоснованы главные размеры, параметры обмотки, зубцовой зоны индуктора и магнитной цепи аппарата.

Обычно применяемые шихтованные сердечники аппаратов вихревого слоя в ряде случаев имеют сниженные магнитные свойства (повышены удельные потери, снижена магнитная индукция) в сравнении с исходными свойствами электротехнической стали, поэтому часто их эксплуатационные характеристики не соответствуют расчетным. При принятой механизированной укладке обмоток в цилиндрических аппаратах достигнута высокая степень улучшения коэффициента заполнения паза проводом, когда дальнейшее улучшение практически невозможно. Кроме того, для последующего повышения нагревостойкости изоляции требуется применение специальных дорогостоящих мероприятий. С учетом перечисленных проблем возникает необходимость повышения технического уровня электрических аппаратов.

Более рациональным в этом случае представляется использование аппаратов с аксиальной формой активной части.

В предлагаемой конструкции ферровихревого аппарата (рисунок 2), присутствуют конструктивные элементы, наличие которых отвечает основным требованиям реализации возможностей вихревого слоя. К таким элементам, в первую очередь, относятся: электромагнитная система (индуктор) - в нашем случае для создания вращающегося электромагнитного поля используется индуктор аксиального, а не цилиндрического (аппараты вихревого слоя, установки активации процессов) исполнения; ферромагнитные частицы, приводимые во вращение магнитным полем; магнитное поле замыкается через аксиальный магнитопровод; рабочая зона, ограниченная внутренней поверхностью крышки реакционной камеры и защитным кожухом аксиального магнитопровода из немагнитного материала.

Ферровихревой аппарат работает следующим образом.

После подачи напряжения на обмотку в ней возникает переменный ток, создающий переменный магнитный поток, который проходит в аксиальном направлении от магнитопровода индуктора через рабочую зону рабочей камеры и замыкается по расположенному аксиально магнитопроводу. После этого магнитный поток возвращается через рабочую зону и замыкается по магнитопроводу индуктора. В рабочей зоне возникает вращающееся электромагнитное поле, увлекающее за собой ферромагнитные частицы.

Исходный жидкий навоз (рисунок 3, а) из подводящего патрубка рабочей камеры попадает во внутреннюю часть «А» рабочей зоны рабочей камеры, условно ограниченную внутренним диаметром магнитопровода индуктора. В этой части плотность вихревого слоя ферромагнитных частиц незначительна, так как они попадают сюда после столкновения с другими частицами и с рабочими поверхностями рабочей камеры. Под напором вновь посту-

пающего исходного навоза обрабатываемый навоз поступает на участок «Б» рабочей зоны рабочей камеры, условно ограниченный внешним и внутренним диаметрами магнитопровода индуктора.

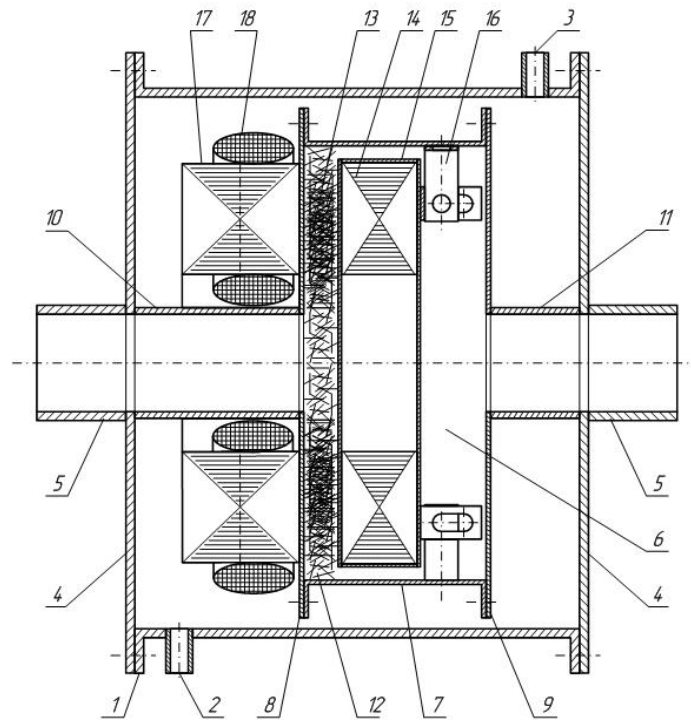


Рисунок 2 - Ферровихревой аппарат:

- 1 - корпус; 2, 3 - патрубки для подвода и отвода охлаждающей среды;
 4 - крышки корпуса; 5 - патрубки корпуса; 6 - реакционная камера;
 7 - цилиндрический корпус реакционной камеры; 8, 9 - крышки реакционной камеры;
 10, 11 - подводящий и отводящий патрубки реакционной камеры;
 12 - рабочая зона; 13 - ферромагнитные частицы; 14 - аксиальный магнитопровод;
 15 - кожух аксиального магнитопровода; 16 - система креплений;
 17 - магнитопровод индуктора; 18 - обмотка

В шихтованном магнитопроводе индуктора принимаемой конструкции каждый слой магнитного материала разделен слоем изоляции. В этом случае каждый слой магнитопровода можно условно рассматривать как элементарный участок полюса, создающий поток со своими силовыми линиями.

Путь, который проходит каждая силовая линия магнитного поля от магнитопровода индуктора к расположенному аксиально магнитопроводу и обратно (рисунок 3, б) на участке «Б» рабочей зоны рабочей камеры, является равно-ограниченным и значительно меньше пути, преодолеваемого силовыми линиями в аппаратах цилиндрического исполнения. Следовательно, электромагнитное поле, создаваемое этими линиями, является более однородным, а значение магнитной индукции и плотность вихревого слоя (во время работы аппарата) максимальны.

В объеме участка «Б» происходит основная обработка навоза.

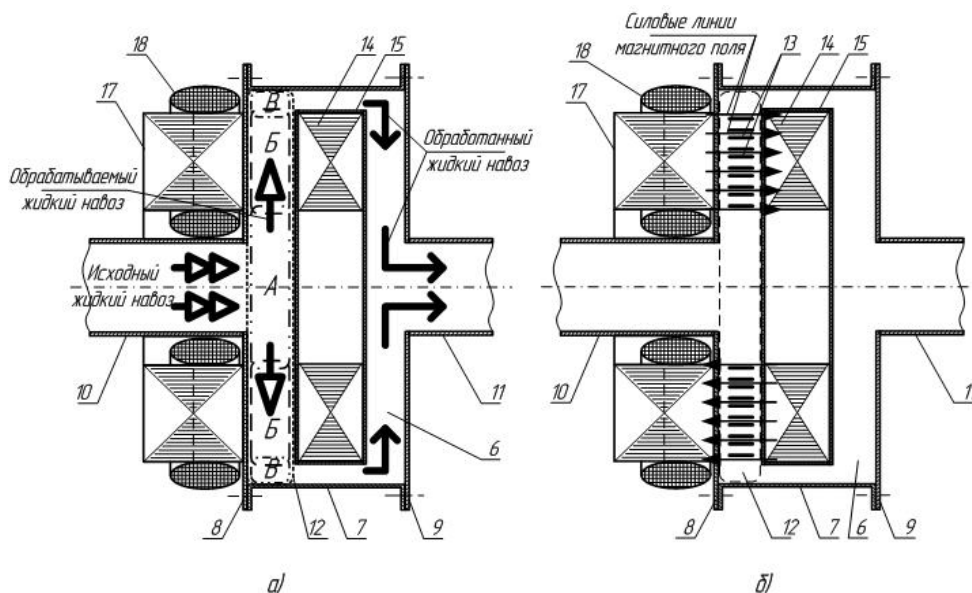


Рисунок 3 - Принципиальная схема работы ферровихревого аппарата

Ферромагнитные частицы в вихревом слое стремятся к образованию отдельных элементарных слоев (рисунок 3, б), расположенных на расстоянии друг от друга вдоль силовых линий магнитного поля. Проскок частиц из слоя в слой возможен за счет их столкновений и под напором поступающего обрабатываемого жидкого навоза. Так как электромагнитное поле на участке «Б» рабочей зоны рабочей камеры является однородным, то ферромагнитные частицы не притягиваются к рабочим поверхностям рабочей камеры, а равномерно распределяются по всему объему участка вдоль силовых линий магнитного поля, что исключает проскок исходного навоза необработанным, при непрерывном ведении технологического процесса. Разрушение поверхностей крышки рабочей камеры и кожуха аксиального магнитопровода происходит, в основном, не за счет удара, а за счет трения о них слоя частиц, так как амплитуда и сила удара в таких условиях минимальны.

Однородное электромагнитное поле в вихревом слое участка «Б» позволяет удерживать основную массу ферромагнитных частиц и препятствует их проскоку на участок «В» (рисунок 3, а), условно ограниченный внешним диаметром магнитопровода индуктора и внутренней поверхностью цилиндрического корпуса рабочей камеры.

После участка «В» обработанный навоз (рисунок 3, а), обтекая поверхность кожуха аксиального магнитопровода, через отводящий патрубок рабочей камеры подается для дальнейшего использования.

Площадь кольцевого зазора между внутренним диаметром цилиндрического корпуса рабочей камеры и наружным диаметром кожуха аксиального магнитопровода не меньше площади сечения подводящего патрубка рабочей камеры, благодаря чему не происходит потери напора обрабатываемого жидкого навоза в рабочей камере, препятствуя, при этом, выносу ферромагнитных частиц потоком обработанного навоза.

Улучшение энергетических показателей аксиального ферровихревого аппарата по сравнению с аппаратами цилиндрического исполнения происходит благодаря уменьшению немагнитного зазора между магнитопроводом индуктора и аксиальным магнитопроводом, что приводит к уменьшению магнитодвижущей силы магнитной цепи и намагничивающего тока ферровихревого аппарата, благодаря чему возрастает его $\cos\varphi$ и уменьшаются потери в обмотке магнитопровода индуктора.

Далее приведена последовательность расчета параметров индуктора исходной модели ферровихревого аппарата [6, 7] с использованием методики, применяемой для аксиальных асинхронных электродвигателей средней и малой мощности (воздушный зазор (δ) равен $0,5 \dots 1$ мм) со ссылками на методы проектирования аппаратов цилиндрического исполнения.

Расчет аппаратов начинают с определения главных размеров: среднего диаметра индуктора D_{cp} и активной длины зазора l_δ (рисунок 4). Размеры D_{cp} и l_δ связаны с мощностью, угловой скоростью и электромагнитными нагрузками выражением машинной постоянной:

$$D_{cp}^2 l_\delta = \frac{2P'}{\pi \alpha_\delta k_b k_{o1} A B_\delta \omega_1}, \quad (1)$$

где D_{cp} - средний диаметр активной поверхности; l_δ - активная длина; P' - расчетная мощность; A - линейная нагрузка на среднем диаметре; B_δ - магнитная индукция в зазоре; ω_1 - угловая скорость; α_δ , k_b и k_{o1} - коэффициенты уплощения, формы кривой поля и обмоточный.

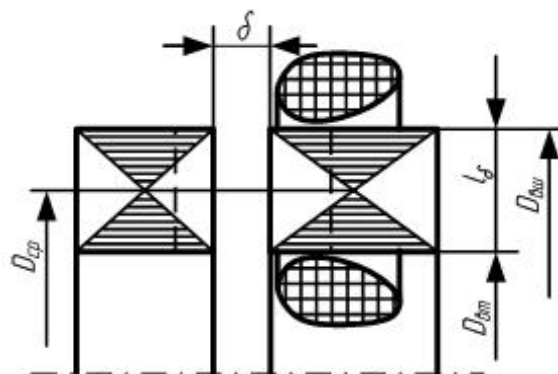


Рисунок 4 - Схема активной части аксиального аппарата

В начальный период расчета аппарата все величины, входящие в (1), кроме угловой скорости вращения, неизвестны. Поэтому расчет проводят, задаваясь на основании имеющихся рекомендаций значениями электромагнитных нагрузок (A и B_δ), коэффициентов (α_δ , k_b и k_{o1}), и приблизительно определяют расчетную мощность P' . Остаются два неизвестных (D_{cp} и l_δ), однозначное определение которых без дополнительных условий невозможно.

Поскольку свойства аксиальных аппаратов в значительной степени зависят от отношения внешнего и внутреннего диаметров активных поверхностей, геометрический параметр a , равный $D_{вн}/D_{вн}$, целесообразно принять в качестве основной координаты, необходимой для определения главных размеров: среднего диаметра индуктора D_{cp} и активной длины зазора l_δ .

В аксиальном аппарате средний диаметр и активную длину можно выразить через значения диаметров ($D_{вн}$ и $D_{вн}$) (рисунок 4):

$$\left. \begin{aligned} D_{cp} &= 0,5(D_{вн} + D_{вн}); \\ l_\delta &= 0,5(D_{вн} - D_{вн}). \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

Размер $D_{вт}$ определяется минимально допустимым, исходя из возможности размещения внутренней лобовой части индуктора и подводящего патрубка рабочей камеры:

$$D_{вт} = 2D_{н.п.п} \quad (3)$$

где $D_{н.п.п}$ - наружный диаметр подводящего патрубка рабочей камеры.

Изменение температурного поля магнитопровода незначительно при изменении отношения диаметров активной части в следующих пределах:

$$1,5 < a < 3. \quad (4)$$

Поэтому размер внешнего диаметра магнитопровода индуктора не должен выходить за пределы диапазона:

$$D_{вн} = (3...6)D_{н.п.п}. \quad (5)$$

В третьей главе «Программа и методика экспериментальных исследований по определению эффективности обеззараживания жидкого свиного навоза в вихревом слое ферромагнитных частиц» приведены результаты обеззараживания по представленной методике, получено уравнение регрессии второго порядка, показывающее общую микробную обсемененность жидкого свиного навоза, прошедшего обработку в ферровихревом аппарате в зависимости от массы ферромагнитных частиц в рабочей зоне ферровихревого аппарата (m) и отношения длины ферромагнитных частиц к их диаметру (λ).

Уравнение регрессии второго порядка, показывающее общую обсемененность жидкого свиного навоза, прошедшего обработку в ферровихревом аппарате, в зависимости от массы ферромагнитных частиц в рабочей зоне ферровихревого аппарата (m), диаметра этих частиц (d) и отношения длины частиц к их диаметру (λ) было получено после проведения трехфакторного эксперимента по определению эффективности обеззараживания жидкого свиного навоза в вихревом слое ферромагнитных частиц.

Качество обеззараживания определялась путем посева образца, прошедшего обработку в вихревом слое ферромагнитных частиц, на питательную среду и выражалось в количестве колоний микроорганизмов, находящихся в навозе после обработки в ферровихревом аппарате (рисунок 5).

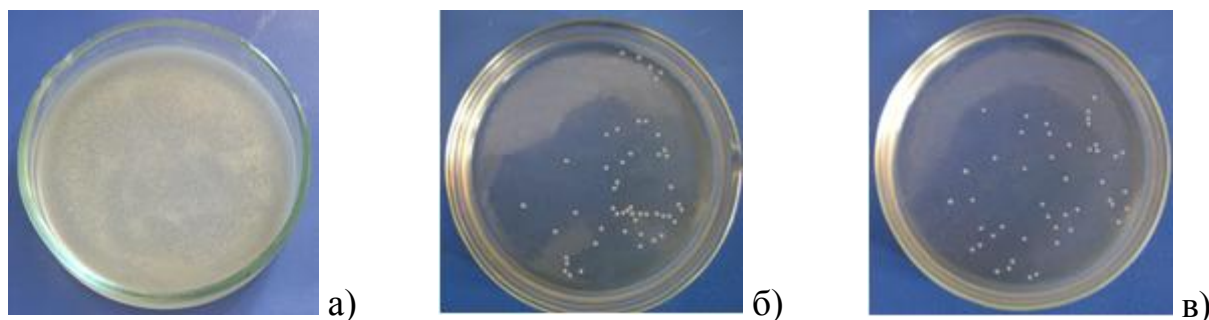


Рисунок 5 - Колонии микроорганизмов, выросшие на питательном агаре:
а - до обработки; б, в - после обработки в ферровихревом аппарате

В результате проведения опытов были получены экспериментальные

данные, представленные в таблице 1.

Таблица 1 - Количество колоний микроорганизмов, выросших на питательном агаре после обработки свиного навоза в ферровихревом аппарате

Номер опыта	Значение факторов			Количество выживших колоний	Номер опыта	Значение факторов			Количество выживших колоний
	$m, \text{с}$	$\lambda = l/d$	$d, \text{мм}$			$m, \text{с}$	$\lambda = l/d$	$d, \text{мм}$	
1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
1	70	10	1,2	39	15	110	12,5	1,6	20
2	70	10	1,4	45	16	110	15	1,2	21
3	70	10	1,6	52	17	110	15	1,4	25
4	70	12,5	1,2	35	18	110	15	1,6	28
5	70	12,5	1,4	40	19	150	10	1,2	21
6	70	12,5	1,6	46	20	150	10	1,4	22
7	70	15	1,2	47	21	150	10	1,6	24
8	70	15	1,4	53	22	150	12,5	1,2	19
9	70	15	1,6	61	23	150	12,5	1,4	21
10	110	10	1,2	18	24	150	12,5	1,6	23
11	110	10	1,4	20	25	150	15	1,2	26
12	110	10	1,6	23	26	150	15	1,4	29
13	110	12,5	1,2	15	27	150	15	1,6	33
14	110	12,5	1,4	17					

Применение прикладной программы для ЭВМ «STATISTICA» при обработке экспериментальных данных позволило получить уравнение регрессии второго порядка:

$$Y = 295,9005 - 2,2375 \cdot m - 23,8778 \cdot \lambda - 0,0033 \cdot m \cdot \lambda + 0,0091 \cdot m^2 + 1,0222 \cdot \lambda^2. \quad (6)$$

Анализ уравнения показал, что коэффициенты диаметра проявили себя незначимыми для большинства опытов. В связи с этим диаметр ферромагнитной частицы можно исключить из числа факторов, так как его величина не оказывает существенного влияния на результат обеззараживания.

В четвертой главе «Экспериментальные исследования ферровихревого аппарата и анализ результатов» представлены результаты исследования электромагнитных характеристик ферровихревого аппарата и необходимые условия для правильного выбора рабочего зазора аппарата.

Ферровихревой аппарат с параметрами магнитопровода индуктора и аксиального магнитопровода, рассчитанными по предложенной методике, при величине рабочего зазора (δ), равной 40 мм, имеет значение магнитной индукции в рабочем зазоре (B_δ) ниже рекомендованного (0,15...0,2 Тл). Величина намагничивающего тока (I_μ) превышает номинальный ток (I_n) в 5...6 раз. Это свидетельствует о том, что его габариты взяты меньшими, чем следовало, так как не учтена возможность размещения на внутреннем диаметре подводящих патрубков реакционной камеры.

Структурная схема экспериментального стенда (рисунок 6) включает в

себя следующие основные элементы: исследуемый ферровихревой аппарат, измерительные цепи, плату аналого-цифрового преобразователя, сопряженную с ЭВМ, статическую (величина рабочего зазора) и динамическую (масса ферромагнитных частиц в рабочей зоне) нагрузки.

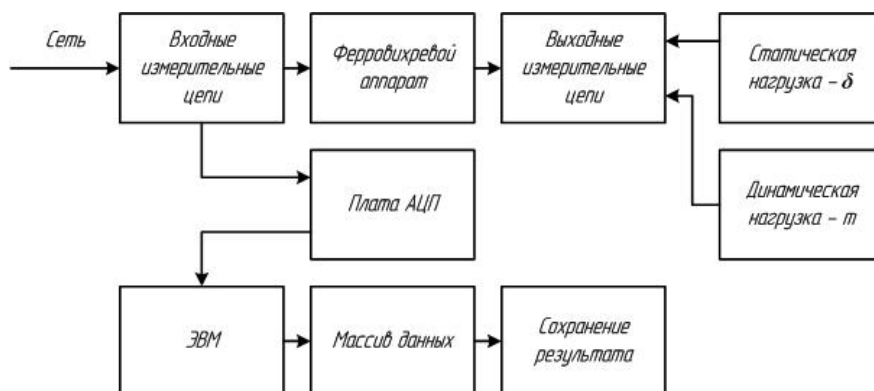
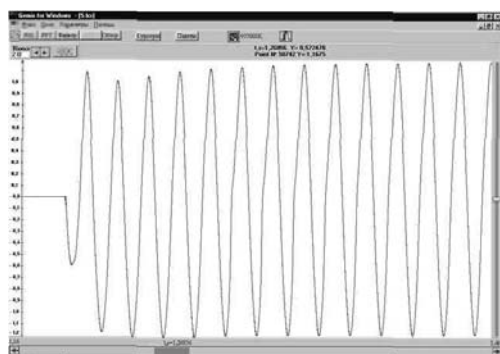


Рисунок 6 - Структурная схема экспериментального стенда

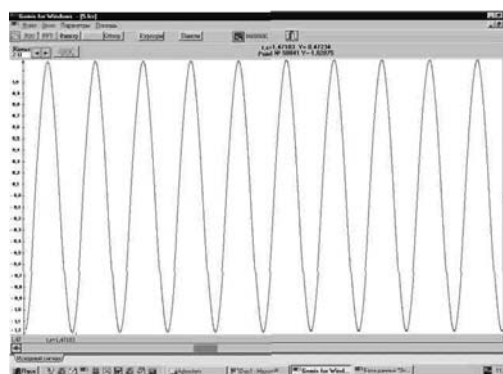
В ходе эксперимента при помощи прикладных программ для ЭВМ были сняты осциллограммы токов в обмотках индуктора магнитопровода ферровихревого аппарата (рисунок 2) в зависимости от величины рабочего зазора δ ($m = 0$, рисунок 7) и от массы ферромагнитных частиц в рабочей зоне m ($\delta = 40$ мм, рисунок 8).

Анализ осциллограмм токов показал, что амплитуда пускового тока незначительна и превышает амплитуду номинального тока не более чем на 36% как при изменении величины зазора, так и при изменении массы частиц в рабочей зоне. Форма токов свидетельствуют о том, что гармоники высших порядков проявляются лишь при пуске и длительность их проявления не превышает 10 периодов (рисунки 7, 8, а). В рабочем режиме гармоники высших порядков не проявляются (рисунки 7, 8, б).

Ферровихревой аппарат представляет собой трехфазную симметричную нагрузку (токи по фазам равны). Поэтому, подключение его к симметричной сети не ухудшает показатели качества электроэнергии.



а)



б)

Рисунок 7- Осциллограммы токов в обмотках ферровихревого аппарата в зависимости от величины рабочего зазора ($m = 0$, $\delta = 40$ мм):

а - режим пуска; б - рабочий режим

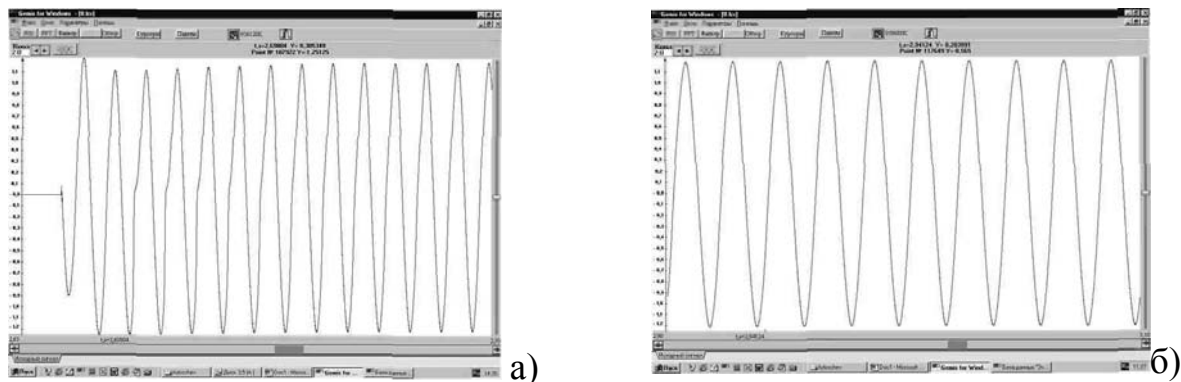


Рисунок 8 - Осциллограммы токов в обмотках ферровихревого аппарата в зависимости от массы ферромагнитных частиц в рабочей зоне ($\delta = 40$ мм, $m = 150$ г): а - режим пуска; б - рабочий режим

Важным условием эффективности работы ферровихревого слоя, а, следовательно, и ферровихревого аппарата является однородность магнитного поля на участке «Б» рабочей зоны (рисунок 3, а). Одним из основных параметров магнитного поля ферровихревого аппарата является величина магнитной индукции на холостом ходу, т.е. при условии отсутствия ферромагнитных частиц.

В ходе эксперимента миллитесламетром были измерены средневзвешенные значения магнитной индукции на участке «Б» рабочей зоны аппарата, при отсутствии в ней ферромагнитных частиц.

Значения магнитной индукции измеряли в контрольных точках у поверхностей индуктора магнитопровода и аксиального магнитопровода, пошагово увеличивая расстояние между ними (рисунок 9).

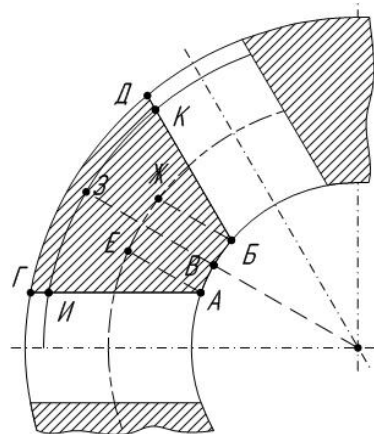


Рисунок 9 - Схема расположения контрольных точек

После измерения усредненные значения B_{δ} занесли в таблицу 2.

Таблица 2 - Значение B_{δ} в контрольных точках при различных значениях δ

δ , мм	Магнитная индукция в контрольных точках								Среднее значение
	А	Б	В	Е	Ж	З	И	К	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
3	300	295	325	510	505	440	420	435	403,75
6	255	250	275	430	427,5	370	355	367,5	341,25
9	220	217,5	240	372,5	370	320	307,5	320	295,94
12	190	190	210	325	320	277,5	267,5	280	257,5
15	175	172,5	190	295	290	252,5	245	255	234,38

18	160	157,5	175	270	265	230	225	232,5	214,38
21	147,5	145	160	247,5	245	212,5	207,5	215	197,5

Продолжение таблицы 2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
24	137,5	135	150	230	227,5	197,5	192,5	200	183,75
27	130	127,5	140	215	212,5	185	180	187,5	172,19
30	122,5	120	132,5	202,5	200	175	170	177,5	162,5
33	117,5	115	127,5	192,5	190	167,5	162,5	170	155,31
36	112,5	110	122,5	185	182,5	162,5	157,5	165	149,69
39	110	107,5	120	180	177,5	157,5	155	160	145,94
42	107,5	105	117,5	177,5	175	155	152,5	157,5	143,44
45	105	102,5	115	175	172,5	152,5	150	155	140,94
48	102,5	100	112,5	172,5	170	150	147,5	147,5	137,81

На основании экспериментально полученных значений магнитной индукции на участке «Б» рабочей зоны аппарата, были построены кривые, ограничивающие область зависимости величины коэффициента индукции в зазоре ($k_{B\delta}$) от величины зазора (рисунок 10). Условием построения явилось то, что для расчета параметров индуктора исходной модели ферровихревого аппарата было принято значение $B_{\delta} = 1 \text{ Тл}$ при величине зазора $\delta = 1 \text{ мм}$.

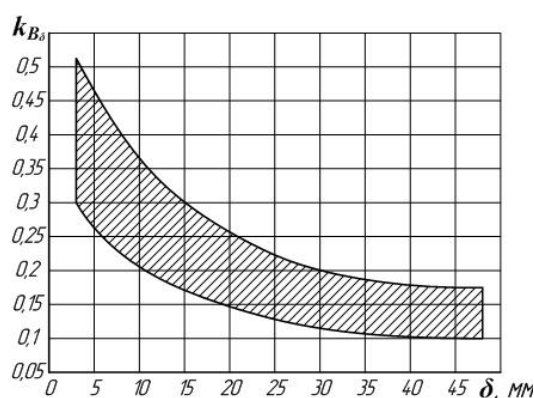


Рисунок 10 - Область значений коэффициента индукции в зазоре в зависимости от величины рабочего зазора

Опыт осуществления технологических процессов в аппаратах вихревого слоя позволил определить целесообразный интервал индукции от $0,1$ до $0,2 \text{ Тл}$. Поэтому величиной, определяющей эффективность работы ферровихревого аппарата, является требуемое (фактическое) значение магнитной индукции в зазоре - $B_{\delta, \text{факт}}$.

Величина рабочего зазора в ферровихревом аппарате значительно больше зазоров в стандартных электрических машинах как цилиндрического, так и аксиального исполнений. Поэтому в расчетах ферровихревых аппаратов следует использовать величину $B_{\delta, \text{расч}}$:

$$B_{\delta, \text{расч}} = \frac{B_{\delta, \text{факт}}}{k_{B\delta}}, \quad (7)$$

где $B_{\delta, \text{факт}}$ - требуемое фактическое значение индукции в зазоре; $k_{B\delta}$ - коэффициент индукции в зазоре, зависящий от величины зазора (выбирается из области, ограниченной кривыми (рисунок 10), построенными на основе экспериментов)

При определении зазора необходимо учитывать, что он должен обеспечивать непрерывное ведение технологического процесса, исключая возмож-

ность застоя обрабатываемого материала в рабочей зоне.

Для того чтобы скорость движения навоза в патрубке реакционной камеры оставалась неизменной, при попадании его в рабочую зону реакционной камеры, необходимо выбирать величину рабочего зазора соблюдая условие:

$$\delta = r_n / 2. \quad (8)$$

Для того чтобы расход жидкого навоза в патрубке реакционной камеры оставался неизменным, при попадании его в рабочую зону реакционной камеры, необходимо выбирать величину рабочего зазора соблюдая условие:

$$\delta = 0,5r_n(v_1 / v_2), \quad (9)$$

где v_1 и v_2 , соответственно, скорость потока навоза в патрубке реакционной камеры и на входе в рабочую зону реакционной камеры

Чрезмерное уменьшение зазора связано с уменьшением объема рабочей зоны реакционной камеры и, как следствие, с уменьшением массы ферромагнитных частиц в последней, так как $K_{кр}$ (критический коэффициент - отношение объема ферромагнитных частиц в рабочей зоне к объему рабочей зоны, при котором частицы прекращают движение) не может быть превышен. При заниженном значении δ снижается производительность аппарата и возникает необходимость в применении ферромагнитных частиц с малыми диапазонами значений их длины (l).

Чрезмерное увеличение δ связано с увеличением объема рабочей зоны реакционной камеры и, как следствие, с увеличением массы ферромагнитных частиц в ней. Но, при этом, чрезмерное увеличение зазора связано со снижением значения магнитной индукции в рабочем зазоре (B_δ) - одного из основных параметров магнитного поля ферровихревого аппарата. Для поддержания рекомендованного значения B_δ , при увеличении δ , требуется увеличение главных размеров (среднего диаметра и активной длины рабочего зазора (D_{cp} и l_δ)), что влечет за собой рост массогабаритных показателей аппарата.

В связи с вышесказанным, полагаем, что существует диапазон значений δ , в котором величина магнитной индукции, масса ферромагнитных частиц и, соответственно, качество обработки исходного жидкого навоза, при принятой производительности аппарата, будут оптимальными. Принимаем величину рабочего зазора равной

$$\delta = (0,45...0,55) \cdot l_\delta. \quad (10)$$

В пятой главе «Расчет основных экономических показателей» определена экономическая эффективность разработанного ферровихревого аппарата. В качестве аналога выбран аппарат УАП, разработанный ООО НПФ ЭКОЛЭНД-2000 (г. Ростов-на-Дону) и имеющий близкие к ФВА производственные характеристики.

Технико-экономические расчеты показали, что обеззараживание жидкого свиного навоза ферровихревым аппаратом разработанной конструкции, является экономически более целесообразным по сравнению с установкой активации процессов.

ОБЩИЕ ВЫВОДЫ

На основании результатов проведенных теоретических и экспериментальных исследований сделаны следующие выводы:

1. Электромагнитное поле, создаваемое силовыми линиями, в аппаратах аксиального исполнения является более однородным, чем в аппаратах цилиндрического исполнения. При аксиальном исполнении значение магнитной индукции и плотность вихревого слоя ферромагнитных частиц (в рабочей зоне во время работы аппарата), влияющие на качество обеззараживания навоза, повышены ($K_{кр} = 0,19$, при $K_{кр} = 0,12$ у аппаратов цилиндрического исполнения).

2. На качество обеззараживания (число колоний микроорганизмов, оставшихся в жидком свином навозе после обработки в вихревом слое ферромагнитных частиц) оказывают влияние масса ферромагнитных частиц в рабочей зоне ферровихревого аппарата (m) и отношение длины ферромагнитной частицы к ее диаметру (λ). Величина диаметра (d) ферромагнитных частиц влияет на качество обеззараживания незначительно.

3. В расчетах ферровихревых аппаратов следует использовать величину расчетной магнитной индукции в рабочем зазоре ($B_{\delta,расч}$), равную отношению фактической (требуемой) индукции в зазоре ($B_{\delta,факт}$) к коэффициенту индукции в зазоре ($k_{B\delta}$).

4. Ферровихревой аппарат оказывает минимальное негативное воздействие на питающую сеть. Амплитуда пускового тока незначительна и превышает амплитуду номинального тока не более чем на 36% как при изменении величины зазора, так и при изменении массы частиц в рабочей зоне. Гармоники высших порядков проявляются лишь при пуске, и длительность их проявления не превышает 10 периодов. В рабочем режиме гармоники высших порядков не проявляются.

5. Полученное уравнение регрессии результатов обеззараживания жидкого свиного навоза в вихревом слое ферромагнитных частиц ферровихревого аппарата позволило определить оптимальные значения массы ферромагнитных частиц ($m = 115...140$ г) и отношения длины ферромагнитной частицы к ее диаметру ($\lambda = 10,5...13$), обеспечивающие наиболее эффективную обработку.

6. Предложенная и обоснованная методика расчета параметров ферровихревого аппарата с аксиальной формой активной части показывает, что величина рабочего зазора (δ) определяется производительностью аппарата (Q_a), подачей фекального насоса (Q_n), массой ферромагнитных частиц (m) в рабочей зоне и находится в пределах $(0,45...0,55) \cdot l_{\delta}$.

7. Эффективность предлагаемого ферровихревого аппарата определяется снижением энергоемкости процесса обеззараживания и подготовки жидкого свиного навоза к использованию в качестве органического удобрения. Экономический эффект выражается экономией годовых эксплуатацион-

ных издержек (139200 руб.) и снижением затрат на 1 тону навоза (8,8 руб.). Чистый дисконтированный доход составляет 303100 руб., срок окупаемости менее 1 года.

Основные положения диссертации опубликованы в следующих работах:

- в изданиях, рекомендованных ВАК:

1. Адошев, А.И. Ферровихревой аппарат для обработки жидкого навоза / А.И. Адошев // Сельский механизатор №6, 2007. - С. 32 - 33.

2. Адошев, А.И. Опыт моделирования магнитных систем с использованием систем автоматического проектирования / С.Н. Антонов, И.К. Шарипов, В.Н.Шемякин, А.И. Адошев // Достижения науки и техники АПК, №10, 2010. - С. 84 - 87.

- авторские свидетельства, патенты, информационные карты:

3. Пол. модель 66222 РФ, МПК В01F13/08, А01С3/00. Аксиальный ферровихревой аппарат для обработки жидкого навоза и сточных вод / А.И. Адошев, В.В. Коваленко, Е.Н. Бушуев (РФ). - 2007112032/22; заявл. 04.02.2007; опубл. 09.10.2007.

4. Пат. 2323040 РФ, МПК В01 F13/08. Ферровихревой аппарат / А.И. Адошев, В.В. Коваленко (РФ). 2006146452/15; заявл. 25.12.2006; опубл. 27.04.2008 Бюл. № 12.

- в сборниках научных трудов и научно-практических журналах:

5. Адошев, А.И. Выбор метода обеззараживания отходов животноводства / А.И. Адошев и др. // Физико-технические проблемы создания новых технологий в агропромышленном комплексе: сборник материалов III Российск. научн.-практ. конф. Т. 2. - Ставрополь: АГРУС, 2005. - С. 45 - 48.

6. Адошев, А.И. Расчет магнитного поля переменных токов с помощью программы ELCUT / А.И. Адошев, С.Н. Антонов // Методы и технические средства повышения эффективности применения электроэнергии в сельском хозяйстве: сб. науч. тр. - Ставрополь: АГРУС, 2005. - С. 100 - 104.

7. Адошев, А.И. Способ обработки отходов животноводства / А.И. Адошев // Методы и технические средства повышения эффективности применения электроэнергии в сельском хозяйстве: сб. науч. тр. - Ставрополь: АГРУС, 2005. - С. 133 - 136.

8. Адошев, А.И. Ферровихревой аппарат для обеззараживания жидкого навоза / А.И. Адошев, В.В. Коваленко // Методы и технические средства повышения эффективности применения электроэнергии в сельском хозяйстве: сб. науч. тр. - Ставрополь: АГРУС, 2006. - С. 114 - 117.

9. Адошев, А.И. Выбор конструкции индуктора ферровихревого аппарата / А.И. Адошев // Методы и технические средства повышения эффективности использования электрооборудования в промышленности и сельском хозяйстве: сб. науч. тр. - Ставрополь, 2009. - С. 72 - 77.

10. Адошев, А.И. Расчет конструктивных параметров индуктора ферровихревого аппарата / А.И. Адошев // Методы и технические средства

повышения эффективности использования электрооборудования в промышленности и сельском хозяйстве: сб. науч. тр. - Ставрополь, 2009. - С. 77 - 85.

11. Адошев, А.И. Применение аксиального ферровихревого аппарата для гомогенизации жидкого навоза / А.И. Адошев, С.Н. Антонов // Методы и технические средства повышения эффективности использования электрооборудования в промышленности и сельском хозяйстве: сб. науч. тр. - Ставрополь, 2009. - С. 85 - 92.

12. Адошев, А.И. Оптимальные весообъемные и стоимостные соотношения в силовых тороидальных трансформаторах повышенных частот / А.В. Ивашина, А.И. Адошев // Методы и технические средства повышения эффективности использования электрооборудования в промышленности и сельском хозяйстве: сб. науч. тр. - Ставрополь, 2010. - С. 3 - 8.

13. Адошев, А.И. Особенности расчета индуктора ферровихревого аппарата / А.И. Адошев, А.В. Ивашина // Методы и технические средства повышения эффективности использования электрооборудования в промышленности и сельском хозяйстве: сб. науч. тр. - Ставрополь, 2010. - С. 8 - 13.