

На правах рукописи

ГРИНЧЕНКО ВИТАЛИЙ АНАТОЛЬЕВИЧ

**ОБОСНОВАНИЕ КОНСТРУКТИВНО-РЕЖИМНЫХ ПАРАМЕТРОВ
ДОИЛЬНОГО АППАРАТА С ЭЛЕКТРОПУЛЬСАТОРОМ
НА ОСНОВЕ ЛИНЕЙНОГО ДВИГАТЕЛЯ**

Специальности: 05.20.01 – Технологии и средства механизации
сельского хозяйства (по техническим наукам)
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 бюджетном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Ставропольский государственный аграрный университет»

- Научный руководитель:** доктор технических наук, профессор
Никитенко Геннадий Владимирович
- Научный консультант:** кандидат технических наук, профессор
Капустин Иван Васильевич
- Официальные оппоненты:** доктор технических наук, профессор
Краснов Иван Николаевич
доктор технических наук, профессор
Оськин Сергей Владимирович
- Ведущее предприятие:** Государственное научное учреждение
Северо-Кавказский научно-исследовательский институт механизации и электрификации сельского хозяйства Российской академии сельскохозяйственных наук (ГНУ СКНИИМЭСХ Россельхозакадемии)

Защита состоится 1 декабря 2011 г. в 10⁰⁰ часов на заседании объединенного диссертационного совета ДМ 220.062.05 при ФГБОУ ВПО «Ставропольский государственный аграрный университет», по адресу: 355017, г. Ставрополь, пер. Зоотехнический, 12, в зале заседания диссертационного совета, ауд. 4.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВПО «Ставропольский государственный аграрный университет».

Автореферат разослан «___» _____ 2011 г. и размещен на официальном сайте www.stgau.ru и на сайте Министерства образования и науки РФ www.vak.ed.gov.ru «___» _____ 2011 г.

Ученый секретарь объединенного диссертационного совета
кандидат технических наук, доцент

В. И. Марченко

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. Согласно Концепции социально-экономического развития РФ к 2020 году планируется увеличить производство молока на 27 %. Однако применение доильных аппаратов с существующим режимом работы снижает продуктивность коров, вызывает обратный ток молока, появление трещин и гиперемические явления в тканях вымени. Перечисленные осложнения провоцируют возникновение стрессов у коров и приводят к маститным заболеваниям. Это происходит из-за непродолжительности переходных процессов от такта сосания к такту сжатия в межстенных камерах доильных стаканов. Таким образом, доильные аппараты не в полной мере соответствуют физиологическим особенностям процесса молокоотдачи, что делает актуальным дальнейшее усовершенствование принципа работы доильного аппарата и конструкции его исполнительных органов. Наиболее перспективным направлением усовершенствования доильного аппарата является увеличение длительности переходного процесса от такта сосания к такту сжатия в межстенных камерах доильных стаканов. Это позволит уменьшить негативное влияние доильного аппарата на организм животных, повысить их продуктивность и снизить выбраковку заболевших коров.

Целью исследования является увеличение продуктивности коров путем создания режима машинного доения, соответствующего физиологическим особенностям процесса молокоотдачи, за счет обоснования конструктивно-режимных параметров доильного аппарата с электропульсатором на основе регулируемого линейного электропривода.

Объектом исследования является технология машинного доения коров при использовании доильного аппарата с линейным электроприводом клапанного механизма электропульсатора.

Предмет исследования: закономерности функционирования пульсатора с линейным электроприводом.

Методика исследования включает анализ технологии машинного доения и выявление направлений усовершенствования принципа работы доильных аппаратов, методы физического и математического моделирования, исследования операций и математической обработки результатов экспериментов, оценку адекватности и достоверности полученных данных, определение экономической эффективности внедрения предлагаемой разработки.

Положения, выносимые на защиту:

- режим машинного доения и конструкция усовершенствованного доильного аппарата с электропульсатором на основе линейного двигателя, позволяющего регулировать длительность переходного процесса от такта сосания к такту сжатия в межстенных камерах доильных стаканов;
- методика расчета параметров клапанного механизма и диаметра атмосферного канала электропульсатора с управляемой длительностью переходных процессов;
- закономерности изменения длительности переходных процессов в межстенных камерах доильных стаканов при их регулировании разработанным электропульсатором;
- результаты расчета магнитной системы и силы на якоре линейного двигателя электропульсатора усовершенствованного доильного аппарата;
- математическая зависимость длительности переключения якоря линейного двигателя.

Научная новизна работы:

- конструктивно-режимные параметры доильного аппарата с регулированием длительности переходного процесса от такта сосания к такту сжатия в межстенных камерах доильных стаканов;
- конструкция электропульсатора на основе линейного двигателя, позволяющего регулировать длительность переходных процессов в межстенных камерах доильных стаканов;
- функциональные зависимости между диаметром атмосферного канала электропульсатора и конфигурацией клапанного механизма, длительностью переходного процесса от такта сосания к такту сжатия в межстенных камерах доильных стаканов и перемещением конусного клапана электропульсатора, а также создаваемой силой на якоре линейного двигателя от геометрических размеров его магнитной системы;
- математическая зависимость на основе уравнения баланса напряжений для одновременной работы двух намагничивающих катушек линейного двигателя, позволяющая определить длительность переключения якоря в момент перехода от такта сосания к такту сжатия.

Практическая значимость работы заключается в том, что результаты исследования позволяют усовершенствовать процесс машинного доения коров путем разработки доильного аппарата с электропульсатором на основе линейного двигателя новой конструкции (патент РФ на изобретение № 2370874) для привода клапанного механизма с управляемой динамикой перемещения якоря (патенты РФ на полезную модель № 79236, 95222, положительное решение о выдаче патента на изобретение по заявке № 2010126114). А также могут быть использованы в проектных организациях при реконструкции ферм по производству молока, в конструкторских бюро, занимающихся разработкой и проектированием доильного оборудования, в научно-исследовательских и учебных учреждениях.

Результаты исследований внедрены в СПК «Московский» Изобильненского района Ставропольского края при реконструкции молочно-товарной фермы на 200 коров. Проведены НИОКР по теме «Разработка электропульсатора доильного аппарата» в соответствии с государственным контрактом с Фондом содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере № 7355р/10197 от 29 декабря 2009 года и № 8715р/13144 от 14 января 2011 г.

Апробация работы. Результаты исследованийложены и одобрены на IV и V Российских научно-практических конференциях «Физико-технические проблемы создания новых технологий в агропромышленном комплексе» (Ставрополь, 2007 и 2009 гг.), на 72-й, 73-й, 74-й научно-практических конференциях «Университетская наука – региону» (Ставрополь, 2008–2010 гг.), на «Круглом столе» по теме «Сотрудничество в области продвижения технологических и инновационных ресурсов Ставропольского края на предприятиях Новгородской области» в составе официальной делегации Ставропольского края (Великий Новгород, 2009 г.), на Всероссийском смотре-конкурсе на лучшую научную работу среди студентов и молодых ученых аграрных вузов России в Азово-Черноморской ГАА (Зерноград, 2009 г.), на конференции, проводимой Российским государственным университетом инновационных технологий и предпринимательства (Москва, 2009 г.), на научно-практических конференциях Кубанского ГАУ (Краснодар, 2010 г.) и Азово-Черноморской ГАА (Зерноград, 2011 г.). Разработка демонстрировалась на выставках: IX и X «Московский международный салон инноваций и инвестиций» (Москва, 2009 и 2010 гг.), «Инновации года» (Ставрополь, 2009 г.),

«Карьера 26» (Ставрополь, 2010 г.). Результаты исследований отмечены дипломом конкурса «Русские инновации» (Москва, 2009 г.), почетной грамотой за победу в V Всероссийском конкурсе инновационных проектов студентов, аспирантов и молодых ученых (Москва, 2009 г.), серебряной медалью X Московского международного салона инноваций и инвестиций (Москва, 2010 г.), дипломом победителя Всероссийского конкурса инновационных идей научной молодежи (Москва, 2011 г.).

Публикации результатов исследований. По материалам диссертационной работы опубликовано 19 печатных работ, из них 3 в журналах из перечня ВАК, 2 патента на изобретения и 2 патента на полезные модели.

Структура диссертации. Диссертация состоит из введения, шести глав, общих выводов и предложений, списка литературы и приложений. Основной текст изложен на 168 страницах печатного текста. Содержит 55 рисунков и 6 таблиц.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы, сформулированы цель, объект и предмет исследований. Представлены положения, выносимые на защиту, описана научная новизна работы.

В первой главе «Состояние вопроса и задачи исследования» описаны технологии машинного доения и физиологические особенности процесса молокоотдачи у коров. Дан обзор исследований длительности переходных процессов в межстенных камерах доильных стаканов и основных направлений совершенствования доильных аппаратов с варьированием продолжительности переходных процессов, проанализированы конструкции пульсаторов доильных аппаратов и приведена их классификация. Этим вопросам посвящены работы ряда ученых: И. Н. Краснова, В. Ф. Королева, Л. П. Карташова, И. К. Винникова, Ю. А. Цоя, И. Г. Велитока, Г. В. Никитенко, И. В. Капустина, Е. А. Андрианова, Е. В. Шевцовой, Е. И. Админа, М. Л. Гордиевских, С. В. Мельникова, А. Г. Тараненко и др.

В результате проведенного обзора существующих технологий машинного доения выявлено, что в них используются доильные аппараты с идентичным принципом работы и воздействием на организм животных. От характера этого воздействия зависит эффективность процесса машинного доения и здоровье коров. Анализ режимов работы доильных аппаратов с варьируемой длительностью переходных процессов в межстенных камерах доильных стаканов дает основание утверждать, что для усовершенствования режима доения коров длительность t_c переходного процесса от такта сосания к такту сжатия должна быть равна 120 мс, что в 2 раза больше, чем в существующих установках, и соответствует физиологическим особенностям процесса молокоотдачи у коров. Регулирование длительности t_c может осуществляться линейным электроприводом. Использование доильного аппарата с электропульсатором на основе линейного электропривода с указанной выше длительностью переходного процесса уменьшает неблагоприятное влияние машинного доения на организм коров, повышает продуктивность и снижает маститные заболевания у коров.

Предшествующие исследования по воздействию доильного аппарата на организм животных позволяют сформулировать *научную гипотезу* о том, что регулирование длительности переходного процесса от такта сосания к такту сжатия в межстенных камерах доильных стаканов позволит создать наиболее оптимальный режим доения.

В качестве *рабочей гипотезы* принято предположение о возможности управления длительностью переходного процесса от такта сосания к такту сжатия в межстенных камерах доильных стаканов при помощи клапанного механизма, привод которого осуществляется линейным двигателем с управляемой динамикой перемещения якоря.

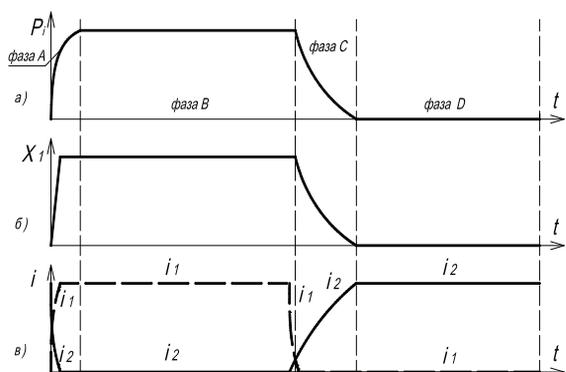
Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие *задачи*:

1. Выявить режим доения, которым должен обладать доильный аппарат, отвечающий биологическим требованиям и физиологическим особенностям молокоотдачи.
2. Разработать конструкцию доильного аппарата с электропульсатором, обеспечивающим регулирование длительности переходного процесса от такта сосания к такту сжатия в межстенных камерах доильных стаканов.
3. Обосновать конструктивные параметры клапанного механизма и определить диаметр атмосферного канала электропульсатора, выполненного на основе линейного двигателя, значения которых соответствуют производительности серийных вакуумных насосов.
4. Установить закономерности изменения длительности процессов наполнения межстенных камер доильных стаканов атмосферным воздухом с электропульсатором новой конструкции.
5. Разработать линейный двигатель для привода клапанного механизма электропульсатора и обосновать параметры его магнитной системы.
6. Определить математическую зависимость длительности перемещения якоря линейного двигателя в момент времени, соответствующий переходному процессу от такта сосания к такту сжатия.

Вторая глава «Теоретические исследования доильного аппарата с электропульсатором на основе линейного двигателя» состоит из четырех разделов. В ней описана конструкция и процесс работы усовершенствованного доильного аппарата, оснащенного электропульсатором с приводом от линейного двигателя. Применение линейного электропривода, соединенного с клапанным механизмом, позволяет формировать цикл работы доильного аппарата с удлинённой переходной фазой *C*, соответствующей переходному процессу от такта сосания к такту сжатия (рисунок 1). Схема и фото разработанного электропульсатора представлены на рисунке 2.

В зависимости от заданного режима доения на намагничивающие катушки *11* и *12* подаются управляющие сигналы. Линейный двигатель позволяет управлять динамикой перемещения якоря *7*, следовательно, и конусного клапана *15*. Когда якорь *7* занимает крайнее верхнее положение, конусный клапан *15* перекрывает атмосферный канал *20*, при этом отверстие *3* в перегородке *2* открыто, поскольку тарельчатый клапан *16* поднимается упором *17*. Происходит истечение воздуха из межстенных камер доильных стаканов (рисунок 3, а).

Вакуум по патрубку *18* заполняет камеру *4* постоянного вакуума и через отверстие *3* камеру *5* переменного вакуума, затем распространяется по патрубку *19* в межстенные камеры. При этом сосковая резина в доильных стаканах не деформируется, поскольку в подсосковых камерах также действует вакуум. Молоко под действием разности давлений внутри вымени и под сосками струей вытекает в подсосковые камеры и отводится в молокоприемник. Происходит такт сосания.



P_i – давление в межстенных камерах доильных стаканов; X_1 – перемещение якоря линейного двигателя; i_1 и i_2 – значения токов на намагничивающих катушках; t – время одного цикла работы доильного аппарата; фаза А – переходная фаза от такта сжатия к такту сосания; фаза В – такт сосания; фаза С – переходная фаза от такта сосания к такту сжатия; фаза D – такт сжатия

Рисунок 1 – Осциллограммы по фазам доения: а) изменения давления в межстенных камерах доильных стаканов; б) перемещения якоря линейного двигателя с клапанным механизмом электропульсатора; в) изменения токов на намагничивающих катушках линейного двигателя

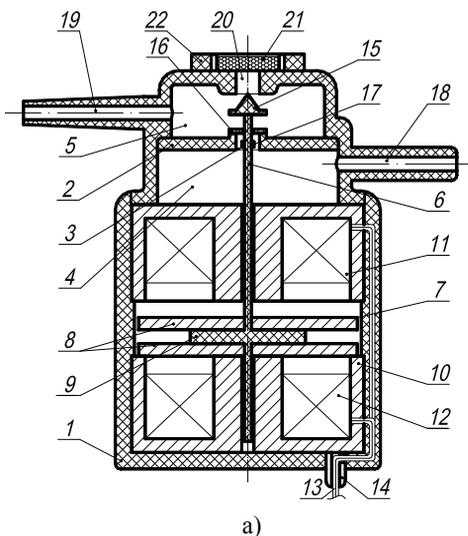


Рисунок 2 – Схема (а) и общий вид (б) электропульсатора доильного аппарата, выполненного на основе линейного двигателя: 1 – корпус; 2 – перегородка; 3 – отверстие; 4 – камера постоянного вакуума; 5 – камера переменного вакуума; 6 – шток; 7 – якорь; 8 – диски магнитопроводящие; 9 – прослойка немагнитная; 10 – магнитопроводы; 11, 12 – катушки намагничивающие; 13 – выводы катушек; 14 – ввод кабельный; 15 – клапан конусный; 16 – клапан тарельчатый; 17 – упор; 18 – патрубок постоянного вакуума; 19 – патрубок переменного вакуума; 20 – канал атмосферный; 21 – фильтр; 22 – крышка

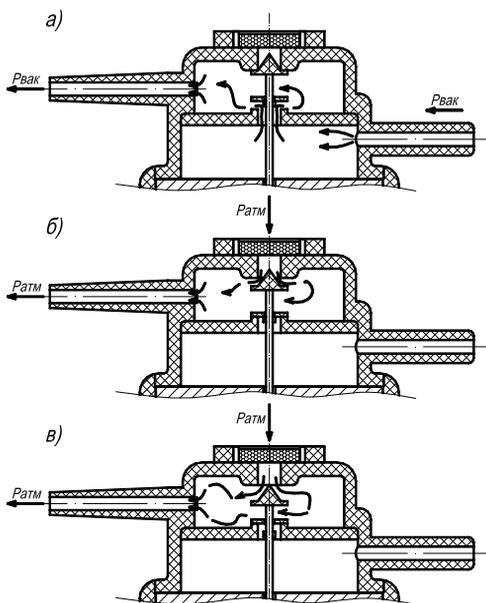


Рисунок 3 – Принцип работы электропульсатора на основе линейного двигателя: а) такт сосания; б) переходный процесс от такта сосания к такту сжатия; в) такт сжатия

Регулированием динамики перемещения конусного клапана 15 при помощи линейного двигателя создается возможность управлять длительностью переходного процесса. Когда якорь 7 линейного двигателя занимает крайнее нижнее положение, атмосферный канал 20 полностью открыт, отверстие 3 в перегородке 2 по-прежнему перекрыто тарельчатым клапаном 16 (рисунок 3, в). Камера 5 переменного вакуума, патрубок 19 и межстенные камеры доильных стаканов заполнены воздухом атмосферного давления. Сосковая резина закрывает соски вымени от действия вакуума в подсосковых камерах доильных стаканов. Происходит такт сжатия. Затем следует переходный процесс от такта сжатия к такту сосания, длительностью которого также возможно управлять при помощи линейного двигателя.

Обоснованы конструктивные параметры клапанного механизма электропульсатора: диаметры отверстия D_O в перегородке между камерами и D_C штока, на котором расположен клапанный механизм электропульсатора, угол α скоса конусного клапана, толщина H_K и H_T и диаметры D_K и D_T клапанов, а также амплитуды X_1 и X_2 их перемещения. При перемещении клапана изменяется площадь S_3 сечения зазора, через который происходит поступление атмосферного воздуха в межстенные камеры доильных стаканов, представляющая собой площадь боковой поверхности правильного усеченного конуса (рисунок 4). Она определяется по формуле

$$S_3 = \frac{\pi}{2}(D_A + D_V) \sqrt{\frac{(D_A - D_V)^2}{4} + X_V^2}, \quad (1)$$

Когда якорь 7 начинает плавно переходить в нижнее положение, конусный клапан 15 постепенно открывает атмосферный канал 20, упор 17 опускается вниз, тарельчатый клапан 16 под действием вакуума притягивается и перекрывает отверстие 3 в перегородке 2, предотвращая расход воздуха в системе (рисунок 3, б). Через крышку 22, фильтр 21, атмосферный канал 20 в камеру 5 переменного вакуума происходит поступление атмосферного воздуха. Вследствие разности давлений в межстенных и подсосковых камерах доильных стаканов сосковая резина сжимается, происходит переходный процесс от такта сосания к такту сжатия. Регулированием динамики перемещения конусного клапана 15 при помощи линейного двигателя создается возможность управлять длительностью переходного процесса.

Когда якорь 7 линейного двигателя

где D_A и D_y – диаметры атмосферного канала электропульсатора и нижнего основания зазора, м;
 X_y – высота зазора, м.



Рисунок 4 – Разрез зазора, через который происходит натекание воздуха в межстенные камеры доильных стаканов

Для описания процесса наполнения межстенных камер воздухом через атмосферный канал электропульсатора необходимо выразить в формуле (1) величины D_A , D_y и X_y через перемещение X_1 конусного клапана (рисунок 5), тогда

$$S_3 = \frac{\pi}{4} \left(D_A + \frac{X_1}{2\sqrt{3}} \right) \sqrt{\left(D_A - \frac{X_1}{2\sqrt{3}} \right)^2 + \left(\frac{X_1}{2} \right)^2}. \quad (2)$$

Учитывая условие взаимосвязи диаметра атмосферного канала и перемещения клапанного механизма, площадь S_3 сечения зазора имеет степенную зависимость от перемещения X_1 клапана электропульсатора (рисунок 6).

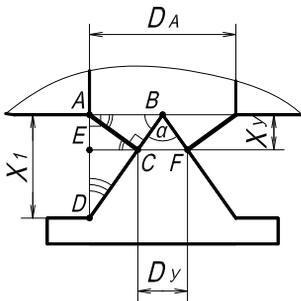


Рисунок 5 – К выражению D_A , D_y и X_y через перемещение X_1 конусного клапана

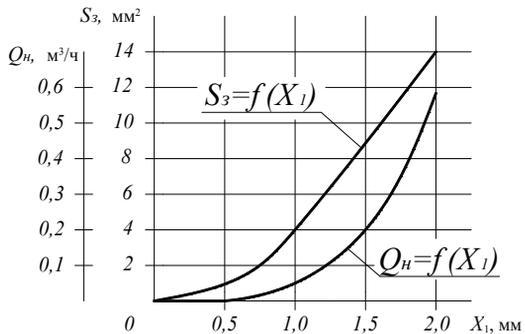


Рисунок 6 – Зависимости площади S_3 сечения зазора и Q_n требуемой производительности вакуумного насоса от перемещения X_1 якоря линейного двигателя

Рассмотрена пропускная способность пневмолиний доильного аппарата. Зная проводимости U_I трубопровода от насоса до вентиля, U_B вентиля, U_{II} трубопровода от вентиля до камеры постоянного вакуума электропульсатора и U_O отверстия в перегородке между камерами постоянного и переменного вакуума, можно определить пропускную способность U_A атмосферного канала электропульсатора. Для воздуха при температуре 17°C пропускная способность U_A в $\text{м}^3/\text{с}$ равна

$$U_A = \frac{680(P_{ATM} + P_{BAK}^I)}{l_A} \left[D_A^4 - D_V^4 - (D_A^2 - D_V^2)^2 \left(\ln \frac{D_A}{D_V} \right)^{-1} \right], \quad (3)$$

где P_{ATM} – атмосферное давление, Па;

P_{BAK}^I – давление в камере переменного вакуума, Па;

l_A – длина атмосферного канала, м.

Из формулы (3) определяется диаметр D_A атмосферного канала при полностью открытом конусном клапане электропульсатора:

$$D_A = \sqrt[4]{\frac{32U_A l_A \ln 4}{(21675 \ln 4 - 19125)(P_{ATM} + P_{BAK}^I)}}. \quad (4)$$

Зависимость требуемой производительности вакуумного насоса при давлении в системе доильного аппарата 50 кПа от перемещения X_1 якоря линейного двигателя приведена на рисунке 6. При $D_A = X_1/0,5$ требуемая производительность Q_H вакуумного насоса доильного аппарата с электропульсатором на основе линейного двигателя будет минимальной. Данное соотношение позволяет определить все конструктивные параметры клапанного механизма электропульсатора по разработанной методике, а также дает основание утверждать, что использование в усовершенствованном доильном аппарате серийного вакуумного насоса НВ-12 с производительностью $10 \text{ м}^3/\text{ч}$ при давлении всасывания 50 кПа обеспечит выполнение процесса доения.

Процесс наполнения межстенных камер доильных стаканов атмосферным воздухом приводит к сжатию сосковой резины, он происходит при переменном объеме камер, что позволяет описать его следующим уравнением, с учетом изменения площади сечения затора, через который происходит наполнение:

$$\frac{d\lambda}{n\lambda} = \frac{\mu\phi S_3}{V_i} \sqrt{P_{ATM} v_{ATM}} \lambda^{-\frac{1}{n}} dt - \frac{dV_i}{V_i}, \quad (5)$$

где n – показатель политропы;

$\lambda = \frac{P_i}{P_{ATM}}$ – отношение переменного давления P_i в межстенных камерах к атмосферному P_{ATM} ;

μ – коэффициент расхода воздуха подводящей линии при наполнении межстенных камер;

ϕ – функция расхода воздуха, $\text{м}^3/\text{с}$;

V_i – объем камер и трубок переменного давления доильного аппарата при давлении P_i в межстенных камерах доильных стаканов, м³;
 $v_{АТМ}$ – удельный объем воздуха при давлении $P_{АТМ}$, м³/Па.

Решив его и выразив длительность t_C процесса наполнения межстенных камер воздухом, который происходит во время фазы C , получим выражение

$$t_C = \frac{24(\lambda_{MAX} - \lambda)[V + (V_0 - V)(\lambda_{MAX} + \lambda)]}{\pi\varphi\sqrt{P_{АТМ} v_{АТМ}} X_1^2 (7,418 - 1,797 X_1^2)}. \quad (6)$$

Согласно выражению (6) длительность фазы C зависит не только от объема межстенных камер доильных стаканов и габаритов системы, но и от закономерности открытия конусного клапана электропульсатора, управление которым выполняет предложенный нами линейный двигатель.

В третьей главе «Исследование электропривода электропульсатора усовершенствованного доильного аппарата» обоснована конструкция и режим работы линейного двигателя, состоящего из двух цилиндрических магнитопроводов 10 с намагничивающими катушками 11 и 12 (рисунок 2). В осевое отверстие магнитопроводов 10 вставлен шток 6 , на котором закреплен якорь 7 , состоящий из двух магнитопроводящих дисков 8 и немагнитной прослойки 9 . Линейный двигатель работает следующим образом. При включении катушки 11 протекающий в ней ток индуцирует магнитное поле, силовые линии которого замыкаются через магнитопровод 10 и магнитопроводящую вставку 8 . При этом возникает сила, перемещающая якорь 7 вверх. Усилие на якоре 7 передается через шток 6 клапанному механизму электропульсатора. Увеличение тока на катушке 11 приводит к увеличению скорости перемещения клапанного механизма электропульсатора. Ток, поступающий на катушку 12 , приводит к возникновению силы, опускающей якорь 7 вниз. Увеличение тока на катушке 12 нарушает равновесие между силами, клапанный механизм электропульсатора опускается вниз. Периодические перемещения якоря линейного двигателя формируют цикл работы доильного аппарата.

Методом конечных элементов программным комплексом Elcut были рассчитаны значения магнитной индукции B в воздушном зазоре двигателя, максимальное из которых равно $0,1$ Тл и позволяет создавать усилие F на якоре 5 Н. При этом величины токов i_1 и i_2 на катушках линейного двигателя изменяются от 0 до 400 мА.

Для определения длительности перемещения якоря линейного двигателя в момент фазы C использовалось уравнение баланса напряжений без учета вихревых токов и явления гистерезиса:

$$(U_1 i_{1C} + U_2 i_{2C}) dt = (i_{1C}^2 R_1 + i_{2C}^2 R_2) dt + i_{1C} d\psi_1 + i_{2C} d\psi_2, \quad (7)$$

где U_1 и U_2 – напряжения, подаваемые на намагничивающие катушки линейного двигателя, В;

i_{1C} и i_{2C} – мгновенные значения токов, протекающие в намагничивающих катушках линейного двигателя, А;

t – длительность перемещения якоря, с;

R_1 и R_2 – активные сопротивления намагничивающих катушек, Ом;

ψ_1 и ψ_2 – потокосцепления с витками катушек линейного двигателя, Вб.

Перейдя к конечным разностям и заменив потокосцепления, при условии, что количество витков и диаметр обмоточного провода одинаковы, а отсчет времени перемещения якоря начинается от неподвижного положения, из уравнения (7) можно выразить длительность перемещения якоря во время фазы С:

$$t_C = \frac{N^2 [i_{1C}(\lambda_1^K - \lambda_1^H) + i_{2C}(\lambda_2^K - \lambda_2^H)]}{i_{1C}(U_1 - i_{1C}R_1) + i_{2C}(U_2 - i_{2C}R_2)}, \quad (8)$$

где N – количество витков в катушках линейного двигателя;

λ_1^H, λ_1^K и λ_2^H, λ_2^K – начальные и конечные проводимости катушек линейного двигателя, Гн.

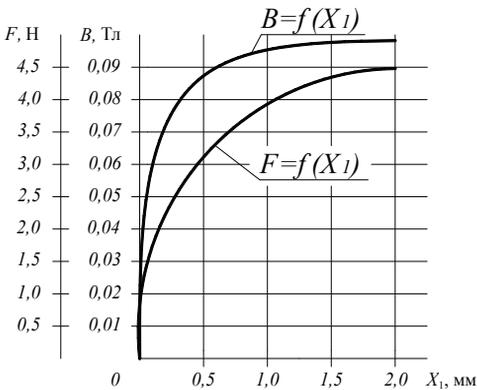


Рисунок 7 – Зависимости изменения магнитной индукции B в воздушном зазоре и силы F на якоре линейного двигателя от перемещения X_1 якоря

В ходе анализа полученной математической зависимости выявлено, что динамика перемещения клапанного механизма зависит не только от количества N витков и проводимостей λ намагничивающих катушек, но и от характера изменения токов на катушках линейного двигателя. Зависимости изменения магнитной индукции и усилия, создаваемого линейным двигателем, от перемещения якоря представлены на рисунке 7. Таким образом, изменением токов на катушках линейного двигателя обеспечивается возможность управления длительностью переходной фазы С. При этом величина токов i_{1C} и i_{2C} должна изменяться от 0 до 400 мА.

В четвертой главе «Программа и методика экспериментальных исследований доильного аппарата с электропульсатором на основе линейного двигателя» описаны общая программа и методика экспериментальных исследований доильного аппарата с электропульсатором на основе линейного двигателя, приведены приборы и общая методика эксперимента, описана схема блока управления режимами работы доильного аппарата, даны частные методики определения длительности переходных процессов, получения осциллограмм изменения давления в межстенных камерах доильных стаканов и построения электромеханической характеристики линейного двигателя. Для лабораторных экспериментов был изготовлен стенд, изображенный на рисунке 8. Межстенная камера доильного стакана через штуцер соединяется шлангом с пневмостером ПТД-1. Вакуумрегулятор задает и позволяет контролировать давление в системе доильного аппарата. Осциллограф отслеживает динамику изменения давления в межстенных камерах доильных стаканов. Электромеханическая характеристика линейного двигателя снималась при помощи стенда, представленного на рисунке 9.

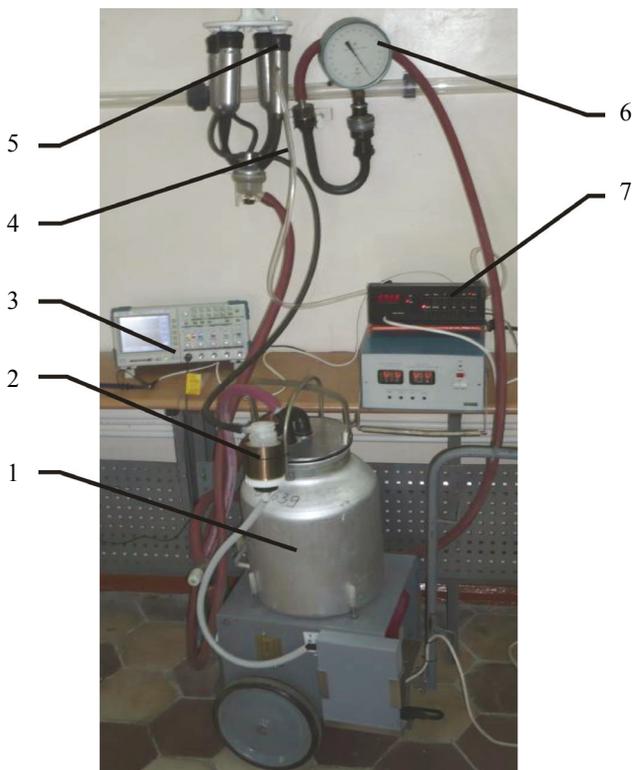


Рисунок 8 – Стенд для построения осциллограмм изменения давления в межстенных камерах доильных стаканов: 1 – аппарат доильный; 2 – электропulsатор на основе линейного двигателя; 3 – осциллограф ТРХ 2024; 4 – шланг переменного вакуума; 5 – стакан доильный со штуцером; 6 – вакуумрегулятор; 7 – пневмостер ПТД-1

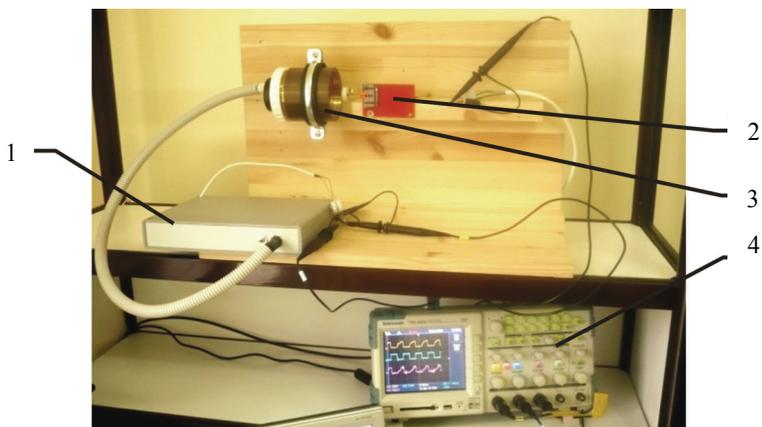


Рисунок 9 – Стенд для определения электромеханической характеристики линейного двигателя: 1 – блок управления электропulsатором; 2 – потенциометр; 3 – линейный двигатель; 4 – осциллограф

В пятой главе «Результаты экспериментальных исследований усовершенствованного доильного аппарата с электропульсатором на основе линейного двигателя» изучена длительность переходных процессов в межстенных камерах доильных стаканов усовершенствованного доильного аппарата, дана электро-механическая характеристика линейного двигателя, проверена адекватность и достоверность расчета диаметра атмосферного канала электропульсатора.

Получены осциллограммы изменения давления в межстенных камерах доильных стаканов, перемещения якоря линейного двигателя и изменения токов на катушках линейного двигателя (рисунок 10). В экспериментах время одной пульсации составляло 1000 мс, что соответствует существующим установкам. В доильном аппарате с разработанным электропульсатором, в отличие от существующих установок, появляется возможность задавать длительность переходной фазы C , что происходит за счет изменения токов i_1 и i_2 на катушках линейного двигателя. Изменение токов на катушках линейного двигателя позволяет изменять давление в межстенных камерах доильных стаканов. Продолжительность переходных процессов в межстенных камерах доильных стаканов определялась по осциллограммам изменения давления, снятым во время работы доильного аппарата по предложенной нами методике. В результате обработки полученной осциллограммы давления выявлено, что длительность переходной фазы C составляет 120 мс, что соответствует физиологии доения коров. Наличие инертности процесса обусловлено жесткостью сосковой резины.

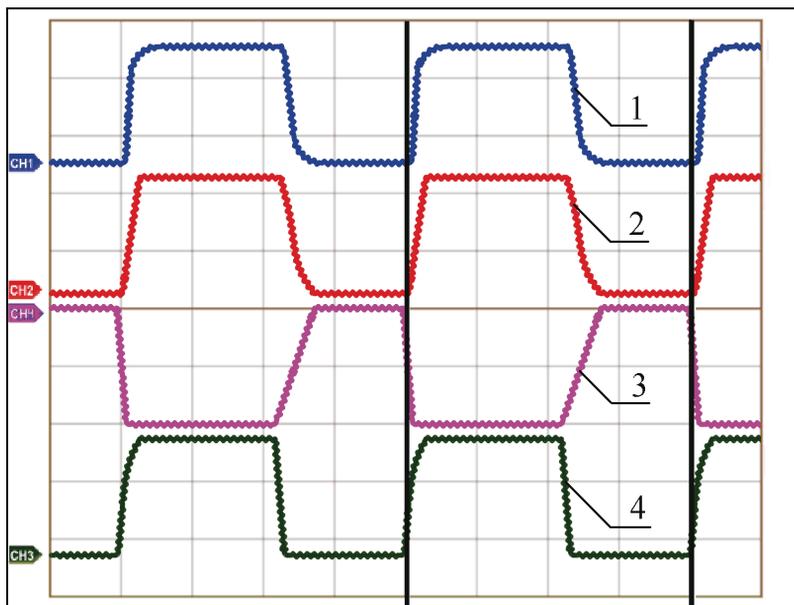


Рисунок 10 – Осциллограммы изменения давления в межстенных камерах доильных стаканов (1), перемещения якоря линейного двигателя (2) и токов на катушках двигателя (3, 4)

Установлено что на длительность переходных процессов в межстенных камерах доильных стаканов оказывает влияние значение токов на катушках линейного двигателя. Причем ток на первой катушке резко изменяется от 0 до 400 мА, на второй – увеличивается до 400 мА плавно, а уменьшается так же, как и на первой катушке.

Теоретические значения длительности переходных процессов во время фазы C при описанном режиме давления и номинальном значении вакуума 50 кПа отличаются от экспериментальных на 8...10 %. Это соответствует достаточной схожести результатов и достоверности допущений, взятых при теоретических исследованиях длительности фазы C (рисунок 11).

Перемещение якоря во время переходных фаз происходит линейно, но во время фазы C длительность перемещения соответствует физиологически обоснованной длительности переходного процесса в доильном стакане. Обработка осциллограммы перемещения якоря позволяет получить экспериментальные зависимости перемещения якоря во времени (рисунок 12). Теоретические значения перемещения клапана в фазу C отличаются на 4...6 %.

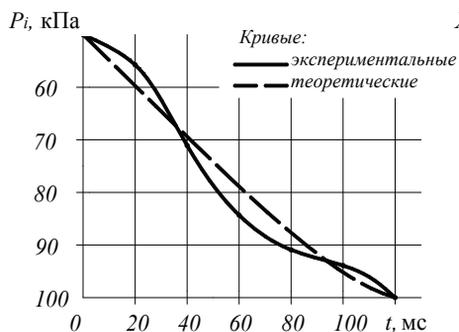


Рисунок 11 – Зависимости изменения давления P_i в межстенных камерах доильных стаканов во время фазы C

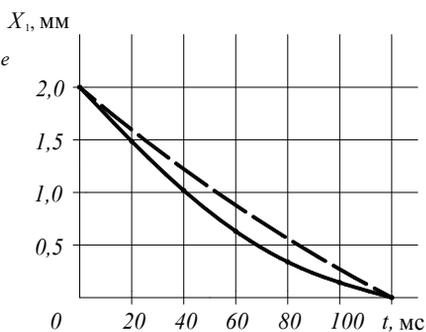


Рисунок 12 – График изменения перемещения X_1 якоря линейного двигателя во время фазы C

В соответствии с теорией планирования эксперимента был проведен двухфакторный эксперимент для выбора оптимальных геометрических размеров клапанного механизма электропульсатора (таблица 1).

Таблица 1 – Условия эксперимента

Величина	Факторы	
	Диаметр D_d , мм	Ход X_1 , мм
Кодированное обозначение фактора	X_1	X_2
Нижний уровень X_i	0,001	0,002
Основной уровень X_i	0,003	0,004
Верхний уровень X_i	0,005	0,006
Интервал варьирования	0,002	0,002

В качестве целевой функции принята требуемая производительность Q_H вакуумного насоса, а диаметр D_A атмосферного канала и перемещение X_1 якоря линейного двигателя – как независимые факторы. Квадратичная модель отклика данного исследования была построена с использованием теории ортогонального планирования 2-го порядка. Для нахождения функции отклика была составлена матрица X_i для ортогонального двухфакторного плана. Адекватность полученного уравнения регрессии была проверена по критерию Фишера. Коэффициент детерминации для нашей модели равен 0,97, что позволяет говорить о высокой точности аппроксимации. Анализ поверхности отклика показал, что оптимальное значение диаметра D_A атмосферного канала – 4 мм, а перемещения якоря X_1 – 2 мм (рисунок 13). Такие значения обеспечивают выполнение технологического процесса и расход U_A воздуха электропульсатором на основе линейного электропривода, равный 0,002 м³/с, что соответствует производительности вакуумного насоса серийных доильных аппаратов при номинальном давлении в системе 50 кПа.

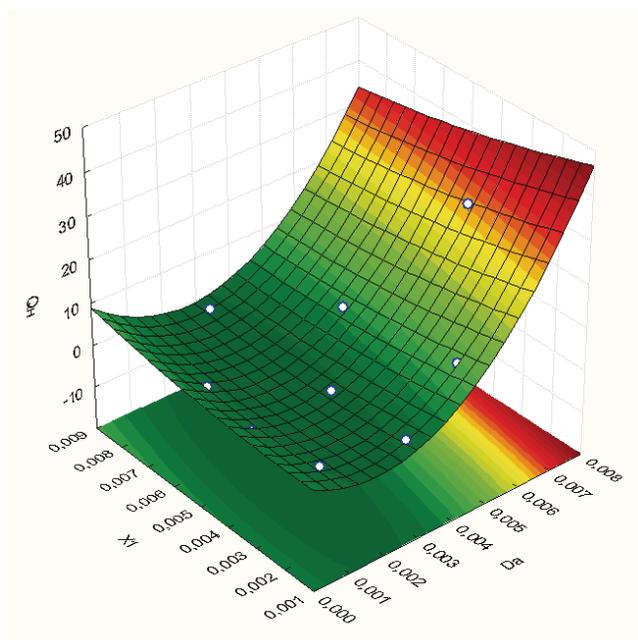


Рисунок 13 – Графическая зависимость производительности Q_H вакуумного насоса при определенных значениях диаметра D_A атмосферного канала электропульсатора и перемещения X_1 якоря линейного двигателя

Шестая глава «Экономическая эффективность результатов исследования усовершенствованного доильного аппарата с электропульсатором на основе линейного двигателя» включает два раздела. В первом проведен сравнительный анализ предлагаемой разработки с существующими аналогами, по результатам которого установлено, что стоимость электропульсатора на основе линейного

двигателя в 2,4 раза ниже стоимости пульсатора LP 20 фирмы «Interpuls» (Италия). Во втором разделе дана технико-экономическая оценка применения предлагаемой разработки. Чистый дисконтированный доход за три года в пересчете на одну корову равен: для мобильной доильной установки АИД-1 – 12,3 тыс. руб.; для установки УДА-16 «Елочка» 2×6, оборудованной электропульсаторами на основе линейного двигателя, – 8,7 тыс. руб. В первом случае срок окупаемости составил 8 месяцев, рентабельность – 144,62 %; а во втором – 22 месяца, рентабельность использования – 46,15 %.

ОБЩИЕ ВЫВОДЫ И ПРЕДЛОЖЕНИЯ

1. Предложена технология машинного доения, режим которой задается электропульсатором, работающим от линейного электропривода, с продолжительностью переходного процесса от такта сосания к такту сжатия 120 мс, что в 2 раза больше, чем в существующих установках, и соответствует физиологическим особенностям процесса молокоотдачи коров.

2. Для регулирования длительности переходного процесса от такта сосания к такту сжатия разработана конструкция электропульсатора, отличительной особенностью которого является наличие линейного двигателя (патент РФ на изобретение № 2370874) для привода клапанного механизма, состоящего из нижнего тарельчатого и верхнего конусного клапанов (патенты РФ на полезную модель № 79236, 95222, положительное решение о выдаче патента на изобретение по заявке № 2010126114).

3. Разработана методика расчета конструктивных параметров клапанного механизма электропульсатора, согласно которой диаметры D_K и D_T верхнего и нижнего клапанов составляют 5 мм, их толщина H_K и H_T – 3 мм, диаметр D_C штока, на котором закреплен клапанный механизм, при нагрузке 0,63 Н – 2 мм, диаметр D_O отверстия в перегородке между камерами постоянного и переменного вакуума – 4 мм.

4. По результатам эксперимента определено, что оптимальный диаметр D_A атмосферного канала равен 4 мм. Это обеспечивает расход воздуха электропульсатором U_A 0,002 м³/с, что соответствует производительности серийных вакуумных насосов при номинальном давлении в доильном аппарате 50 кПа.

5. Получены закономерности изменения длительности процессов наполнения межстенных камер доильных стаканов атмосферным воздухом, согласно которым наибольшее влияние на продолжительность переходного процесса от такта сосания к такту сжатия оказывает перемещение X_1 конусного клапана электропульсатора. Установлено, что для обеспечения требуемой длительности переходного процесса площадь S_3 сечения зазора, через который происходит наполнение межстенных камер атмосферным воздухом, увеличивается до 14 мм² при перемещении X_1 верхнего клапана, ход которого составляет 2 мм.

6. Разработана новая конструкция линейного двигателя для привода клапанного механизма электропульсатора, магнитная система которого состоит из двух симметричных цилиндрических магнитопроводов с плоским прямоходовым якорем. По результатам расчета параметров магнитной системы получено значение индукции в воздушном зазоре B , равное 0,1 Тл, что позволяет создавать силу F на якоре в 5 Н. При этом величина токов i_1 и i_2 на катушках линейного двигателя изменяется в пределах от 0 до 400 мА.

7. Предложена математическая зависимость на основе уравнений баланса напряжений для одновременной работы двух намагничивающих катушек, которая

позволяет определить длительность переключения якоря линейного двигателя в момент, соответствующий переходному процессу от такта сосания к такту сжатия. Установлено, что динамика перемещения клапанного механизма зависит не только от количества N витков и проводимостей λ намагничивающих катушек, но и от характера изменения токов i_1 и i_2 на катушках линейного двигателя.

8. Чистый дисконтированный доход за трехлетний расчетный период применения усовершенствованного доильного аппарата АИД-1 равен 12,3 тыс. руб. в пересчете на одну корову. При этом срок окупаемости капитальных вложений составит 8 месяцев, а рентабельность – 144,62 %. Чистый дисконтированный доход за такой же расчетный период применения предлагаемой разработки на ферме с поголовьем 200 коров равен 8,7 тыс. руб. на одну корову. Срок окупаемости доильной установки УДА-16 «Елочка» 2×6, оборудованной электропульсаторами на основе линейного двигателя, составит 22 месяца, при рентабельности использования 46,15 %.

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ ДИССЕРТАЦИИ ОПУБЛИКОВАНЫ В СЛЕДУЮЩИХ РАБОТАХ:

В изданиях, рекомендованных ВАК Министерства образования и науки РФ

1. Гринченко, В. А. Электропульсатор щадящего режима / Г. В. Никитенко, В. А. Гринченко // Сельский механизатор. – 2009. – № 8. – С. 26–27.
2. Гринченко, В. А. Доильный аппарат с электропульсатором / Г. В. Никитенко, И. В. Капустин, В. А. Гринченко // Сельский механизатор. – 2010. – № 4. – С. 32–33.
3. Гринченко, В. А. Оптимизация режима доения коров / Г. В. Никитенко, В. А. Гринченко // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 2011. – № 7. – С. 11–12.

Патенты

4. Пат. 79236 RU, МПК8 А01J 5/14. Электромагнитный пульсатор доильного аппарата / Г. В. Никитенко, В. А. Гринченко; заявитель и патентообладатель СтГАУ. – № 2008132309/22; заявл. 05.08.08; опубл. 27.12.08, Бюл. № 36.
5. Пат. 95222 RU, МПК8 А01J 5/14. Электропульсатор доильного аппарата / Г. В. Никитенко, И. В. Капустин, В. А. Гринченко; заявитель и патентообладатель СтГАУ. – № 2010108042/22; заявл. 04.03.10; опубл. 27.06.10, Бюл. № 18.
6. Пат. 2370874 RU, МПК8 Н02К 33/12. Линейный двигатель / Г. В. Никитенко, В. А. Гринченко; заявитель и патентообладатель СтГАУ. – № 2008112342/09; заявл. 31.03.08; опубл. 20.10.09, Бюл. № 29.
7. Положительное решение о выдаче патента на изобретение по заявке № 2010126114 RU, МПК8 А01J 5/14. Электропульсатор доильного аппарата / Г. В. Никитенко, И. В. Капустин, В. А. Гринченко; заявитель и патентообладатель СтГАУ. Заявл. 25.06.10.

Статьи в сборниках трудов

8. Гринченко, В. А. Электромагнитный пульсатор, отвечающий физиологическим требованиям машинного доения / Г. В. Никитенко, В. А. Гринченко // Инновационные технологии механизации, автоматизации и технического обслуживания в АПК : сб. науч. тр. – Орел : Изд-во Орел ГАУ, 2008. – С. 127–130.
9. Гринченко, В. А. Электромагнитный пульсатор / Г. В. Никитенко, В. А. Гринченко // Методы и технические средства повышения эффективности применения электроэнергии в сельском хозяйстве : сб. науч. тр. – Ставрополь : АГРУС, 2008. – С. 57–60.

10. Гринченко, В. А. Электромагнитный пульсатор с плавными переходными процессами / Г. В. Никитенко, В. А. Гринченко // Методы и технические средства повышения эффективности использования электрооборудования в промышленности и сельском хозяйстве : сб. науч. тр. – Ставрополь : АГРУС, 2009. – С. 403–407.

11. Гринченко, В. А. Линейный двигатель возвратно-поступательного движения с регулированием амплитуды колебания якоря / Г. В. Никитенко, В. А. Гринченко // Методы и технические средства повышения эффективности использования электрооборудования в промышленности и сельском хозяйстве : сб. науч. тр. – Ставрополь : АГРУС, 2009. – С. 407–411.

12. Гринченко, В. А. Об усовершенствовании электропульсатора для машинного доения / В. А. Гринченко // Техника и технология. – 2009. – № 1. – С. 27.

13. Гринченко, В. А. Электромагнитный пульсатор доильного аппарата новой конструкции / Г. В. Никитенко, В. А. Гринченко // Физико-технические проблемы создания новых экологически чистых технологий в агропромышленном комплексе : сб. науч. тр. – Ставрополь : АГРУС, 2009. – С. 71–72.

14. Гринченко, В. А. Электропульсатор доильного аппарата на основе линейного электродвигателя / Г. В. Никитенко, В. А. Гринченко // Новые направления в решении проблем АПК на основе современных ресурсосберегающих, инновационных технологий : сб. науч. тр. – Волгоград : ИПК «Нива», 2010. – С. 277–279.

15. Гринченко, В. А. Электропульсатор доильного аппарата / В. А. Гринченко // Ресурсосберегающие приемы и способы повышения продуктивности сельскохозяйственных животных : сб. науч. тр. – Тверь : «Агросфера» ТвГСХА, 2010. – С. 109–110.

16. Гринченко, В. А. Электропульсатор для современного доильного аппарата / В. А. Гринченко // Инновационное развитие аграрного сектора экономики: сб. науч. тр. – Курск : Изд-во Курск. Гос. с.-х. ак., 2010. – С. 232–234.

17. Гринченко, В. А. Приборы и методика определения эксплуатационных параметров пульсаторов доильных аппаратов / И. В. Капустин, В. А. Гринченко // Актуальные проблемы научно-технического прогресса в АПК : сб. науч. ст. – Ставрополь : АГРУС, 2010. – С. 58–61.

18. Гринченко, В. А. Результаты исследования линейного электродвигателя для вакуумного пульсатора доильного аппарата / Г. В. Никитенко, В. А. Гринченко // Методы и технические средства повышения эффективности использования электрооборудования в промышленности и сельском хозяйстве : сб. науч. тр. – Ставрополь : АГРУС, 2010. – С. 268–271.

19. Гринченко, В. А. Линейный электродвигатель пульсатора с щадящим режимом доения / Г. В. Никитенко, В. А. Гринченко // Актуальные проблемы энергетики АПК : сб. науч. тр. – Саратов : Изд-во «КУБиК», 2011. – С. 215–218.

Подписано в печать 17.10.2011. Формат 60x84 $\frac{1}{16}$. Гарнитура «Таймс». Бумага офсетная.
Печать офсетная. Усл. печ. л. 1,0. Тираж 100. Заказ № 331.

Отпечатано в типографии издательско-полиграфического комплекса СтГАУ «АГРУС»,
г. Ставрополь, ул. Мира, 302.