

На правах рукописи

БАХЧЕВНИКОВ ОЛЕГ НИКОЛАЕВИЧ

**ХАРАКТЕРИСТИКИ И ПАРАМЕТРЫ
ВАКУУМНЫХ ПУЛЬСАТОРОВ
ДЛЯ СТОЙЛОВЫХ ДОИЛЬНЫХ АВТОМАТОВ**

Специальность 05.20.01 – Технологии и средства механизации
сельского хозяйства
(по техническим наукам)

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Ростов-на-Дону 2014

Работа выполнена в Государственном научном учреждении
Северо-Кавказском научно-исследовательском институте механизации и
электрификации сельского хозяйства Российской академии
сельскохозяйственных наук (ГНУ СКНИИМЭСХ Россельхозакадемии)

Научный руководитель: **Винников Иван Кириллович**
доктор технических наук,
профессор кафедры «Процессы и машины
в агробизнесе»
ФГБОУ ВПО «Ставропольский
государственный аграрный университет»

Официальные оппоненты: **Краснов Иван Николаевич**
доктор технических наук, профессор,
профессор кафедры «Механизация и
технология производства и переработки
сельскохозяйственной продукции»
Азово-Черноморский инженерный институт
ФГБОУ ВПО «Донской государственный
аграрный университет» в г.Зернограде

Фролов Владимир Юрьевич
доктор технических наук, профессор,
заведующий кафедрой «Механизация
животноводства и безопасность
жизнедеятельности»
ФГБОУ ВПО «Кубанский государственный
аграрный университет»

Ведущая организация: ГНУ Всероссийский научно-исследовательский
институт механизации животноводства
Россельхозакадемии (г. Москва)

Защита состоится 10 июня 2014 г. в 11⁰⁰ часов на заседании диссертационного
совета Д 212.058.05 при ФГБОУ ВПО «Донской государственный технический
университет» по адресу: 344000, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1, ауд. 252.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВПО ДГТУ и на
официальном сайте www.donstu.ru.

Автореферат разослан «___» _____ 2014 г.

Ученый секретарь диссертационного совета



Л.В.Борисова

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Совершенствование машинного доения коров занимает одно из основных мест в общей проблеме механизации отрасли производства молока. Его значимость не только в повышении производительности труда дояров в 1,5-2 раза, но, главное, в обеспечении безопасности и полноты выдаивания, роста продуктивности коров и качества молока. В странах высокой культуры производства молока основная роль при этом отводится автоматизации доения. За последние 20 лет зарубежом в станочных установках при беспривязном содержании коров она в основном завершена. С 1998 г. начата роботизация этого процесса, и уже работают свыше 20 тысяч доильных роботов, в России же – единицы.

В нашей стране 90% всего поголовья охватывает привязное содержание с доением неавтоматизированными аппаратами. Сложность автоматизации процесса доения коров в стойлах состоит в том, что здесь неприемлемы манипуляторы и автоматы снятия доильных стаканов, используемые в доильных залах. Проблема может быть решена путем создания и внедрения простейших самоотключающихся стойловых доильных автоматов на всех фермах, включая МФХ. Поэтому их исследование и разработка с использованием современных методов познания, например, таких как теория систем автоматического регулирования, актуальны.

Объекты исследования: процессы функционирования управляемых пульсаторов и логических элементов, управляющих работой коллектора двух-трехтактного доильного аппарата.

Предмет исследования: элементы теории вакуумных управляемых пульсаторов, включающие их модели, гистерезисные петли, релейные характеристики и параметры.

Рабочая гипотеза: предполагается, что новые знания позволят создать на основе пульсатора компактное устройство управления соотношением тактов, частотой пульсаций и величиной вакуума под соском самоотключающихся доильных аппаратов для всех типов доильных установок, включая стойловые и пастбищные.

Научная гипотеза: предполагается, что рабочий процесс пульсатора доильного аппарата осуществляется не произвольно, а по гистерезисной петле как по алгоритму, включающему конечный набор правил со строго определенными оптимальными параметрами, которыми можно управлять по сигналам датчика интенсивности молоковыведения.

Методы исследования: анализ и синтез сложных динамических систем с использованием элементов теории систем автоматического регулирования, а именно – графоаналитических методов исследования линейных систем по безразмерным обобщенным параметрам в относительных единицах.

Научная новизна работы состоит в описании статики и динамики процесса работы мембранного вакуумного пульсатора доильного аппарата с использованием гистерезисной петли и графоаналитического метода исследования релейных элементов и систем.

Практическую ценность представляют созданные на основе проведенных исследований доильный аппарат для автоматизированного доения коров в стой-

лах, летних лагерях и на пастбищах и стойловый доильный модуль, защищенные патентами РФ на изобретения №2440716 «Двухрежимный доильный аппарат» и №2423822 «Передвижной доильный модуль». Разработан проект зоотехнических требований на стойловый доильный автомат.

Апробация работы. Основные положения диссертации доложены и одобрены на научных конференциях СКНИИМЭСХ (2009-2013 гг.), НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства (2010-2011 гг.), на международной научно-практической конференции в рамках выставки «Интерагромаш» г.Ростов-на-Дону (2010-2013 гг.), на международной научно-технической конференции ННЦ ИМЭСХ НААН Украины (2013 г.).

На защиту выносятся:

1. Теория рабочего процесса управляемого пульсатора доильного аппарата.
2. Совмещённые с релейной гистерезисной петлей рабочие характеристики пульсаторов.
3. Метод исследования пульсаторов доильных аппаратов как вакуумных пневматических элементов с нелинейностью релейного типа.
4. Управляемый автоматизированный доильный аппарат с изменяющимися параметрами (соотношение тактов, частота пульсаций и глубина вакуума под соском).

Публикации. По материалам диссертации опубликовано 27 печатных работ, в том числе: 4 в рецензируемых научных журналах и изданиях, 2 патента РФ на изобретение, одна книга и брошюра (в соавторстве). Общий объем публикаций составляет 13 п.л., из них лично соискателю принадлежат 9,8 п.л.

Реализация результатов исследования. Экспериментальные образцы управляемых пульсаторов в составе двух-трехтактных доильных аппаратов прошли производственную проверку в ФГУП «Экспериментальное» Зерноградского района Ростовской области. Результаты исследований приняты к использованию ОАО «АОМЗ» и ГНУ СКНИИЖ.

Структура и объем диссертации. Диссертация содержит введение, пять глав, общие выводы, библиографический список из 134 наименований и приложения на 14 страницах. Диссертация изложена на 176 страницах машинописного текста, содержит 52 рисунка и 15 таблиц.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы, ее научная и практическая значимость, изложены основные положения, выносимые на защиту.

В первой главе «Состояние и анализ разработки управляемых доильных аппаратов и систем. Цель и задачи исследований» представлены исходные положения и результаты ретроспективного анализа предшествующих исследований доильных аппаратов и систем регулирования процесса молоковыведения, включающих пульсаторы с регулируемыми параметрами.

Совершенствованию процесса и средств молоковыведения и разработке новых доильных автоматов и систем посвящены работы В.П.Бабкина, Е.В.Беновой, Э.К.Вальдмана, А.С.Веприцкого, И.К.Винникова, С.Я.Горма, В.А.Дриго, О.Б.Забродиной, А.И.Зеленцова, Л.П.Карташова, И.В.Капустина, Э.А.Келписа, В.В.Кирсанова, Л.П.Кормановского, В.Ф.Королева, И.Н.Краснова, В.А.Петров-

ского, А.А.Скроманиса, В.Ф.Ужика, А.И.Фененко, И.А.Хозяева и др.

К сожалению, в науке до сих пор нет единого мнения об оптимальной величине основных параметров доильных аппаратов. В связи с этим их значения в разных аппаратах существенно отличаются. Так, например, частота пульсаций может принимать значения от 0,8 до 2,2 Гц, соотношение тактов от 1:1 до 4:1, глубина вакуума под соском от 25 до 70 кПа. Все эти параметры должен обеспечивать пульсатор, являющийся «сердцем» любого управляемого доильного аппарата, но аппарата, удовлетворяющего в определенной степени всем этим требованиям, пока нет. Наиболее значимыми в этом плане являются разработки С.Я.Горма под руководством В.Ф.Королева, В.А.Петровского и Е.В.Беновой под руководством И.К.Винникова.

Суть разработки С.Я.Горма состоит в том, что для изменения соотношения тактов доильного аппарата предлагается к стержню мембранно-клапанного механизма пульсатора, установленного на крышке ведра, подвесить поворачивающуюся в вертикальной плоскости на шарнире щелевую ловушку, вес молока в которой зависит от интенсивности молоковыведения. С увеличением интенсивности молоковыведения сила веса ловушки, действующая на стержень, увеличивается, как и продолжительность такта сосания. Основным недостатком данного решения является громоздкость из-за расположения механизма на крышке доильного ведра.

В результате экспериментальных исследований характеристик пульсатора В.Ф.Королев установил, что их абсолютные величины не имеют значения, а их соотношение как раз и необходимо для конструирования пульсаторов с заданными параметрами, и что имеет место закономерность увеличения длительности такта сосания и соответствующее сокращение тактов сжатия и отдыха с повышением величины вакуума срабатывания, а это и есть свойства реле. Таким образом, он экспериментальным путем вплотную подошел к необходимости исследования пульсаторов как релейных устройств на основе теории систем автоматического регулирования в относительных единицах.

В промышленной пневмоавтоматике для изменения тактов в генераторах импульсов используются универсальные трёхмембранные реле с подпором. Исследование возможности и целесообразности использования таких реле в доильных аппаратах было проведено В.А.Петровским. Несмотря на положительные результаты исследования, использование промышленных пневмореле в доении оказалось нецелесообразным из-за сложности конструкции и тяжелых условий эксплуатации, требующих разборки неразборных реле.

В результате исследования и обоснования Е.В.Беновой параметров и режимов работы двух-трехтактного доильного аппарата было установлено, что среднюю действующую величину вакуума под соском в зависимости от интенсивности и фазы молоковыведения можно менять путем изменения продолжительности такта сосания и своевременного перевода работы аппарата с трехтактного на двухтактный режим и обратно, а рабочая характеристика пульсатора, являющаяся релейной, возможно позволит плавно изменять соотношение тактов и частоту пульсаций.

В результате поисковых опытов была определена **цель исследований** – повышение эффективности машинного доения коров путем совершенствования

доильного аппарата на основе новых знаний о функциональных возможностях пульсатора, позволяющих регулировать параметры в зависимости от интенсивности и фазы молоковыведения в соответствии с физиологическими требованиями.

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

1. Исследовать функциональные возможности и особенности функционирования пульсатора как вакуумного пневматического элемента с нелинейностью релейного типа.

2. Установить внутренние связи, закономерности функционирования пульсатора и возможности управлять его основными параметрами: соотношением тактов, частотой пульсаций и глубиной вакуума под соском в допустимых физиологически обоснованных пределах.

3. Разработать лабораторные образцы и провести экспериментальные исследования управляемых пульсаторов.

4. Провести производственную проверку, определить эффективность управляемых пульсаторов и разработать проект зоотехнических требований на стойловый доильный автомат.

Во второй главе «Теоретические исследования и обоснование характеристик и параметров вакуумных пульсаторов для стойловых доильных автоматов» представлены результаты исследования пульсаторов как вакуумных пневматических элементов релейного типа. Исследования проведены с использованием элементов теории систем автоматического регулирования, а именно – графоаналитических методов исследования динамических систем по безразмерным обобщенным параметрам в относительных единицах.

Исследуемый управляемый пульсатор является основным узлом сложной вакуумной линейной пневматической системы – доильного аппарата (рисунок 1) с изменяющимися параметрами в зависимости от интенсивности и фазы молоковыведения.

Данный доильный аппарат может работать в четырех режимах:

- в обычном двухтактном режиме при отсутствии датчика и управляющего устройства с ручным включением и выключением;

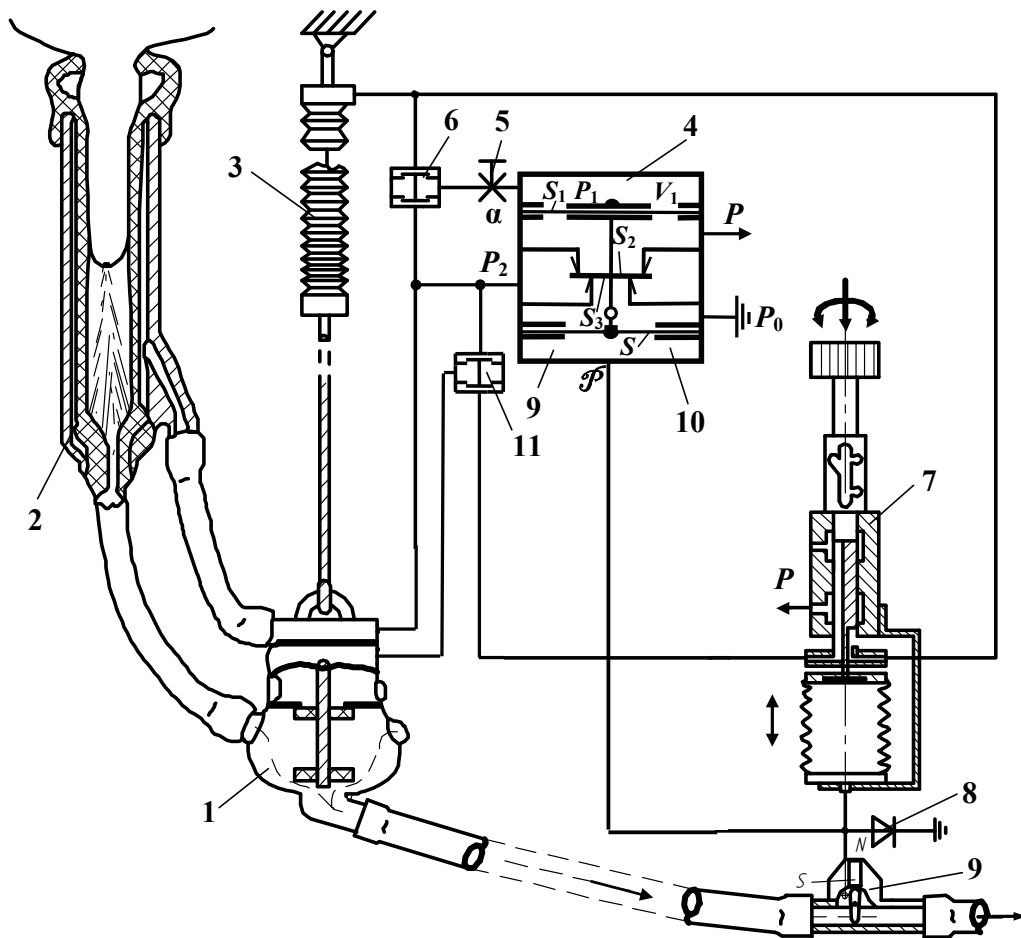
- при наличии аналогового сигнала датчика 9 в управляющей камере подпора 10 и при фиксированном нижнем включённом положении управляющего устройства 7 аппарат работает в режиме с плавно изменяющимися параметрами в зависимости от интенсивности молочного потока;

- при включённом управляющем устройстве 7 и при отсутствии аналогового сигнала датчика аппарат работает в двух-трехтактном режиме с изменяющейся скачком средней действующей величиной вакуума под соском, в конце доения отключается автоматически;

- при включённом управляющем устройстве 7 и при наличии аналогового сигнала в камере подпора 10 аппарат работает в комбинированном режиме с плавно изменяющимися параметрами в зависимости от интенсивности и фазы молоковыведения с переключением на двухтактный режим при бурной молокоотдаче и автоматическим отключением в конце доения.

Исходя из этого и были проведены теоретические исследования и обосно-

вание характеристик и параметров пульсатора.



Величины вакуума: $\mathcal{P}$ – в аналоговой управляющей камере подпора, P – в системе питания, P_1 – в управляющей камере, P_2 – в камере переменного вакуума; P_0 – атмосферное давление; α – проводимость дросселя; V_1 – объем управляющей камеры; S , S_1 – эффективные площади мембран; S_2 , S_3 – площади клапанов; 1 – коллектор; 2 – доильный стакан; 3 – пневмосъёмник; 4 – пульсатор; 5 – пневмодроссель; 6, 11 – элементы ИЛИ; 7 – сильфонное управляющее устройство; 8 – обратный клапан; 9 – магнитоуструйный датчик вакуумных сигналов; 10 – управляющая камера подпора

Рисунок 1 – Пневматическая схема доильного аппарата с изменяющимися параметрами в зависимости от интенсивности и фазы молоковыведения (патенты РФ №2257707, 2269889, 2363150, 2440716)

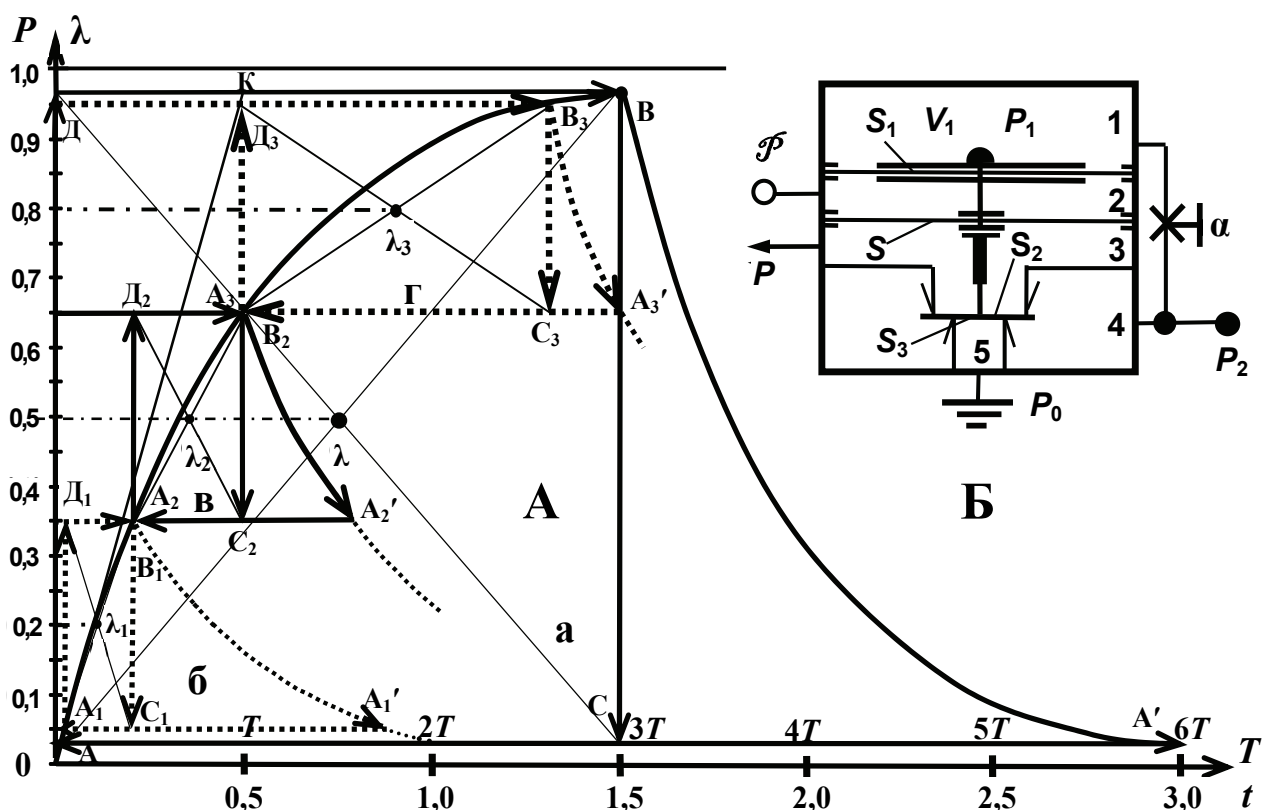
Имея исходные данные и гистерезисную характеристику пульсатора, можно его исследовать, но уже не как исполнительный орган, а как управляющее звено, формирующее команды на основе реализации поступающих сигналов.

Переходные характеристики управляющей камеры пульсатора представляют собой восходящую и нисходящую экспоненты и строятся на графике по известным формулам.

Основным параметром пульсатора является фаза сосания $\lambda = t_1/T_{\text{ц}}$, чем она больше, тем продолжительнее такт сосания, тем выше пропускная способность аппарата, а в трёхтактном режиме – тем выше средняя действующая величина вакуума под соском $P_c = \lambda \cdot P$. Поэтому нас больше всего интересует именно этот

параметр: от чего он зависит и можно ли в процессе доения им управлять?

Исходя из этого, основное внимание было обращено на наиболее характерные точки гистерезисных петель – их центры и соответствующие им значения по оси ординат (рисунок 2А). Центрам гистерезисных петель на оси ординат всегда соответствует определенное значение величины питания в относительных единицах (о.е.), в центре системы координат – 0,5, выше – 0,8. Установлено, что эти численные значения строго соответствуют значениям фазы сосания λ каждой из рассматриваемых нами гистерезисных петель. Поэтому параметр λ в относительных единицах (в масштабе P) вынесен на ось ординат, а центры гистерезисных петель обозначены через λ , и при расчетах эта величина параметра пульсатора принята за основу.



1 – управляющая камера; 2 – камера подпора; 3 – камера постоянного вакуума; 4 – камера переменного вакуума; 5 – камера атмосферного давления

Рисунок 2 – Различные положения на экспоненте гистерезисных характеристик А (а, б, в, г) управляемого пульсатора Б

Если частота работы пульсатора задана заранее, то время цикла определяется по известным формулам

$$T_{\text{ц}} = \frac{1}{f}, \text{ или } T_{\text{ц}} = t_1 + t_2, \quad (1)$$

где f – частота работы пульсатора, Гц.

Время такта сосания t_1 определяется из гистерезисной петли по восходящей экспоненте

$$t_1 = T \cdot \ln \frac{1 - P_{\text{omn}}}{1 - P_{\text{cp}}}, \quad (2)$$

где P_{cp} – величина вакуума срабатывания по восходящей экспоненте, $P_{отп}$ – величина вакуума отпускаания по нисходящей экспоненте.

Время такта сжатия t_2 определяется из гистерезисной петли по нисходящей экспоненте

$$t_2 = T \cdot \ln \frac{P_{cp}}{P_{отп}}. \quad (3)$$

Время цикла работы пульсатора $T_{ц}$ можно определить и по формуле

$$T_{ц} = T \cdot \ln \left(\frac{P_{cp}}{P_{отп}} \cdot \frac{1 - P_{отп}}{1 - P_{cp}} \right). \quad (4)$$

Анализ графиков рисунка 2А подтверждает то, что во всех случаях соотношение тактов цикла работы доильного аппарата определяется длиной и положением хорды-диагонали с центром λ гистерезисной петли пульсатора на восходящей экспоненте координатной плоскости $P - t$. Это дает основание считать, что с помощью этих графиков можно оптимизировать характеристики и параметры пульсатора по основным его показателям, а именно, по времени такта сосания t_1 , если значение фазы сосания $\lambda = t_1/T_{ц}$, как и величину вакуума питания P , в относительных единицах отложить по оси ординат, а по оси абсцисс отложить время в долях постоянной времени T его управляющей камеры в масштабе t .

Таким образом, все основные характеристики и параметры зависят от длины и положения хорды-диагонали с центром λ на восходящей экспоненте переходной характеристики управляющей камеры пульсатора – чем меньше угол ее наклона к горизонту, тем больше ее значение.

Итак, в сущности предлагаемого графоаналитического метода рассматривается не положение гистерезисной петли, загромождающей график, а ее основы, несущей всю основную информацию – хорды-диагонали с центром λ на восходящей экспоненте.

В результате проведенных в СКНИИМЭСХ исследований был сделан вывод, что разборное вакуумное пневмореле, работающее в режиме генератора плавно изменяющихся импульсных сигналов, можно реализовать по рисункам 1 или 2Б на базе пульсаторов отечественных серийных аппаратов. Для этого по рисунку 2Б между управляющей камерой и камерой постоянного вакуума вместо одной мембраны необходимо установить блок двух мембран: с мягким (со стороны камеры постоянного вакуума) и с жестким (со стороны управляющей камеры) центрами. В результате между мембранами образуется дополнительная камера переменного подпора $\mathcal{P}$, изменяющегося в процессе доения пропорционально интенсивности молоковыведения.

В соответствии со схемой (рисунок 2Б) величины вакуума срабатывания и отпускаания определяются по формулам

$$P_{cp} = \frac{\mathcal{P}(S_1 - S) + P(S - S_3)}{S_1}, \quad (5)$$

$$P_{отп} = \frac{\mathcal{P}(S_1 - S) + P(S - S_2)}{S_1}. \quad (6)$$

При $\mathcal{P} = P$ уравнения (5) и (6) принимают вид

$$P_{cp} = P \left(1 - \frac{S_3}{S_1} \right), \quad (7)$$

$$P_{omn} = P \left(1 - \frac{S_2}{S_1} \right), \quad (8)$$

соответствующий уравнениям для неуправляемых пульсаторов.

Так как высота гистерезисной петли $\Delta P = P_{cp} - P_{omn}$, а

$$P_{cp} - P_{omn} = P \left(\frac{S_2 - S_3}{S_1} \right) = const,$$

то при любом размещении в координатном поле $\Delta P = const$, является ее базой и петля всегда остается «несжимаемой» по высоте.

Из анализа уравнений (5) и (6) следует, что при отсутствии у коров молокоотдачи ($\mathcal{P} = 0$) P_{cp} и $P_{отп}$ будут минимальными, так как любая мембрана с мягким центром имеет минимальную эффективную площадь. Поэтому обязательным условием работоспособности этого пульсатора является то, что эффективная площадь мягкой мембраны должна быть больше эффективной площади любого клапана, разделяющего камеру переменного вакуума P_2 с постоянным вакуумом P системы питания и с атмосферой P_0 , т.е. должно соблюдаться неравенство

$$S_1 > S > S_2 > S_3. \quad (9)$$

Промежуточные значения $\mathcal{P}$ обеспечивают плавный переход параметров пульсатора от одного состояния процесса доения к другому.

Для графоаналитического анализа динамики процесса работы пульсатора с управляемой камерой подпора его релейные характеристики (5) и (6) необходимо представить в относительных единицах

$$P_{cp} = \mathcal{P} \left(1 - \frac{S}{S_1} \right) + P \left(\frac{S - S_3}{S_1} \right), \quad (10)$$

$$P_{omn} = \mathcal{P} \left(1 - \frac{S}{S_1} \right) + P \left(\frac{S - S_2}{S_1} \right). \quad (11)$$

Теоретически численное значение λ можно определить из уравнений (10) и (11), если в выражение

$$\lambda = P_\lambda = \frac{P_{cp} + P_{omn}}{2} \quad (12)$$

подставим значения P_{cp} и $P_{отп}$ (в относительных единицах)

$$\lambda = P_\lambda = \mathcal{P} \left(1 - \frac{S}{S_1} \right) + P \frac{2S - S_2 - S_3}{2S_1}. \quad (13)$$

На основании этих формул разработана модель пульсатора с блоком двух мембран по схеме рисунка 2Б

$$\left. \begin{aligned} P_{cp} &= \frac{S - S_3}{S_1} \\ P_{omn} &= \frac{S - S_2}{S_1} \\ \lambda = P_\lambda &= \frac{2S - S_2 - S_3}{2S_1} \end{aligned} \right\} \times P + \mathcal{P} \times \left(1 - \frac{S}{S_1} \right) \quad (14)$$

из которой следует, что все члены ее уравнений, за исключением сигнала $\mathcal{P}$, есть величины постоянные, а любое изменение величины этого сигнала вызывает адекватные изменения всех основных рабочих параметров пульсатора. Таким образом, аналоговый сигнал датчика $\mathcal{P}$ как раз и является тем звеном, которое позволяет управлять работой пульсатора.

Эффективная площадь разделительной мембраны S определяется исходя из условий, когда $\lambda = 0,5$, а $\mathcal{P} = 0$

$$S = \frac{S_1 + S_2 + S_3}{2}, \quad (15)$$

мягкой

$$S_m = \frac{\pi D_m^2}{12},$$

а жёсткой по формуле

$$S_1 = \frac{\pi}{12} (D_1^2 + D_1 d_1 + d_1^2), \quad (16)$$

где D_m , D_1 и d_1 – диаметры заще姆лений и жёсткого центра мембран, соответственно, м.

Для варианта пульсатора по схеме рисунка 1 таким же образом разработана адекватная математическая модель.

На основе полученных теоретических зависимостей разработана методика инженерного расчёта, позволяющая определять параметры вакуумных управляемых пульсаторов доильных автоматов.

Преимуществом пульсатора, исполненного по схеме рисунка 2Б, является компактность и завершённость как пневматического прибора, его недостатком – некоторая сложность разборки и сборки при эксплуатации.

Недостатком пульсатора, исполненного по схеме рисунка 1, является обязательное соблюдение условия: эффективная площадь мембраны камеры подпора должна быть меньше площади атмосферного клапана по внутреннему диаметру сопла

$$S_1 > S_2 > S_3 > S, \quad (17)$$

в противном случае атмосферное сопло при равенстве аналогового управляющего сигнала величине питания P не будет открываться, и пульсатор перестанет работать.

Для установления взаимосвязей параметров управляемых пульсаторов и

выявления влияния на них переменного сигнала $\mathcal{P}(0,0; 0,5; \text{ и } 1,0)$ датчика, соблюдая условия (9) и (17) и учитывая конструктивные параметры пульсаторов, по формулам соответствующих моделей производим расчёты, результаты которых сведены в таблицу 1 и представлены на графиках рисунка 3.

Таблица 1 – Результаты расчёта параметров управляемых пульсаторов

Варианты	Конструктивные параметры				Расчётные параметры по заданным значениям величины вакуума подпора $\mathcal{P}$ в о. е.								
	S	S_1	S_2	S_3	0,0			0,5			1,0		
					$P_{\text{ср}}$	$P_{\text{отп}}$	$P_{\lambda}(\lambda)$	$P_{\text{ср}}$	$P_{\text{отп}}$	$P_{\lambda}(\lambda)$	$P_{\text{ср}}$	$P_{\text{отп}}$	$P_{\lambda}(\lambda)$
I	4,0	5,0	3,0	1,0	0,6	0,2	0,4	0,7	0,3	0,5	0,8	0,4	0,6
II	4,0	5,0	1,5	0,3	0,74	0,5	0,62	0,84	0,6	0,72	0,94	0,7	0,82
III	4,0	5,0	1,0	0,1	0,78	0,6	0,69	0,88	0,7	0,79	0,98	0,8	0,89

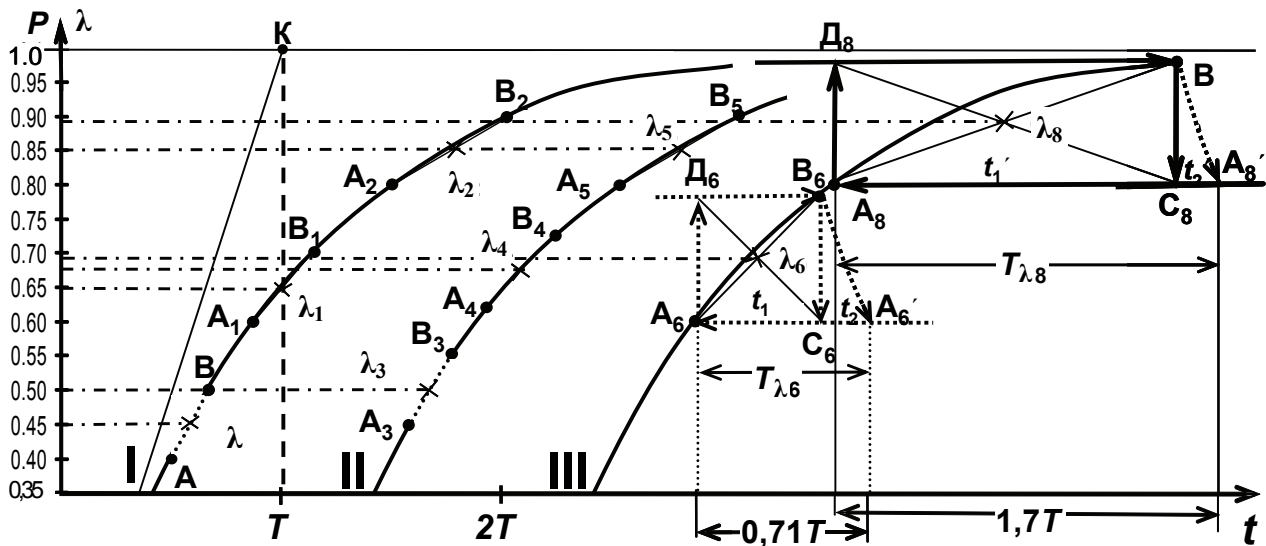


Рисунок 3 – Графическое определение параметров пульсаторов по заданным значениям положения хорд-диагоналей гистерезисных петель на экспонентах I, II и III

Эти результаты в основном удовлетворяют предъявляемым выше физиологическим требованиям, обеспечивая плавное изменение соотношения тактов, частоты пульсаций и глубины вакуума под соском в зависимости от интенсивности и фазы молоковыведения в определенных пределах. Затем, при бурном молоковыведении, до предельных значений скачком за счет перехода аппарата с трехтактного на двухтактный режим работы.

На экспоненте I (рисунок 3) основные носители информации состояний гистерезисной петли пульсатора, выполненного по схеме рисунка 1, хорды-диагонали $A - B$, $A_1 - B_1$, $A_2 - B_2$ с центрами λ , λ_1 и λ_2 , соответственно, имеют: соотношения тактов от 0,8:1 до 5,7:1; величину вакуума под соском (при $P = 50$ кПа) от $P_{\lambda} = 22,5$ кПа до $P_{\lambda 2} = 42,5$ кПа.

На экспоненте II (пульсатор по схеме рисунка 2Б) хорды-диагонали $A_3 - B_3$, $A_4 - B_4$, $A_5 - B_5$ с центрами λ_3 , λ_4 и λ_5 имеют: соотношения тактов от 1:1 до

5,7:1; вакуум под соском от $P_{\lambda 3} = 25$ кПа до $P_{\lambda 5} = 42,5$ кПа.

На экспоненте III (пульсатор по схеме рисунка 2Б) хорды-диагонали $A_6 - B_6$ и $A_8 - B_8$ с центрами λ_6 и λ_8 имеют: соотношения тактов от 2,1:1 до 8,1:1; вакуум под соском от $P_{\lambda 6} = 34,5$ кПа до $P_{\lambda 8} = 44,5$ кПа.

Для сравнения изменения частоты пульсаций на хордах-диагоналях $A_6 - B_6$ и $A_8 - B_8$ с центрами λ_6 и λ_8 (выделены в таблице 1), соответственно, восстанавливаем гистерезисные петли с тактами сосания t_1 , сжатия t_2 и определяем соответствующие продолжительности времени циклов ($T_{\lambda 6}$ и $T_{\lambda 8}$) пульсатора. В соответствии с формулой (1) изменение частоты пульсаций составит $\frac{f_{\lambda 6}}{f_{\lambda 8}} = \frac{T_{\lambda 8}}{T_{\lambda 6}} \approx 2,4$, что соответствует указанным выше пожеланиям физиологов и по этому параметру.

Основным условием эффективной работы предлагаемой пневматической схемы управления доильного аппарата является следующее соотношение постоянных времени распределительной с межстенными камерами доильных стаканов T_1 и управляющей камеры коллектора T_2 с учетом запаздывания сигналов по линии связи

$$T_1 \geq T_2. \quad (18)$$

После подстановки выражение (18) примет вид

$$\frac{V_2}{R\Theta\alpha_1} + \frac{l_1}{v_1} \geq \frac{V_3}{R\Theta\alpha_2} + \frac{l_2}{v_2}, \quad (19)$$

где l_1 и l_2 – длины линий связи пульсатора с распределительной и управляющей камерами коллектора, м, соответственно равны $l_1 = l_2$;

v_1 и v_2 – скорости передачи сигналов по линиям связи пульсатора с распределительной и управляющей камерами коллектора, м/с, соответственно также равны $v_1 = v_2$.

Так как газовая постоянная $R = const$, температура $\Theta = const$, проводимости линий связи $\alpha_1 \approx \alpha_2$, а суммарный объем распределительной камеры коллектора с межстенными камерами доильных стаканов V_2 во много раз превышает объем управляющей камеры коллектора V_3 : $V_2 \gg V_3$ ($V_3 = 3 \text{ см}^3$), то

$$\frac{V_2}{\alpha_1} \geq \frac{V_3}{\alpha_2}, \quad (20)$$

т.е. условие (18) выполняется.

Результаты теоретических исследований релейных характеристик и параметров вакуумных пульсаторов для управляемых доильных аппаратов получены впервые и требуют подтверждения экспериментальными исследованиями.

В третьей главе «Методика экспериментальных исследований вакуумных пульсаторов для стойловых доильных автоматов» изложены общая программа и методика экспериментальных исследований.

Программа экспериментальных исследований предусматривала:

1. Проверку возможности изменения параметров пульсатора в процессе его работы в зависимости от интенсивности и фазы молоковыведения.

2. Определение соответствия расчетных и экспериментальных величин основных параметров и рабочих характеристик управляемых пульсаторов.

3. Определение параметров пневматической схемы управления доильного аппарата при различном расположении элементов ИЛИ.

Экспериментальные исследования пульсаторов проводились на лабораторной установке, позволяющей имитировать условия машинного доения коров.

Были изготовлены лабораторные образцы управляемых пульсаторов на основе пульсаторов АДУ.02.000-03 и ДД4-1 (рисунок 4).



а

б

в

а – пульсатор с дополнительной мембраной; б – пульсатор с блоком двух мембран; в – пульсатор с устройством управления работой доильного аппарата на основе блока двух элементов ИЛИ

Рисунок 4 – Лабораторные образцы управляемых пульсаторов

В четвертой главе «Результаты экспериментальных исследований вакуумных пульсаторов для стойловых доильных автоматов и их анализ» представлены экспериментальные данные, подтверждающие полученные теоретические положения о возможности изменения параметров управляемых пульсаторов в процессе доения.

В ходе исследований установлено, что параметры управляемого пульсатора изменяются в зависимости от уровня управляющего сигнала, пропорционального изменению интенсивности молоковыведения (рисунок 5а). При увеличении его значения происходит снижение частоты пульсаций f и одновременное увеличение соотношения тактов v за счет увеличения фазы сосания λ . При достижении максимального значения молокоотдачи частота пульсаций поддерживается на минимальном, а соотношение тактов на максимальном уровне, при котором фаза сосания максимальна, и фактически происходит непрерывный отсос молока. При снижении уровня управляющего сигнала, соответствующего молокоотдаче, происходит обратный процесс. При этом каждому значению интенсивности молокоотдачи соответствует свое значение частоты пульсаций и соотношения тактов (фазы сосания) в пределах ошибок измерительных приборов.

Установлено, что величины вакуума срабатывания и отпуска, а также средняя действующая величина вакуума в подсосковых камерах доильных стаканов при работе аппарата в трехтактном режиме изменяются прямо пропорционально величине аналогового управляющего сигнала. При этом перепад вакуума в управляющей камере для данного пульсатора всегда остается постоянной величиной.

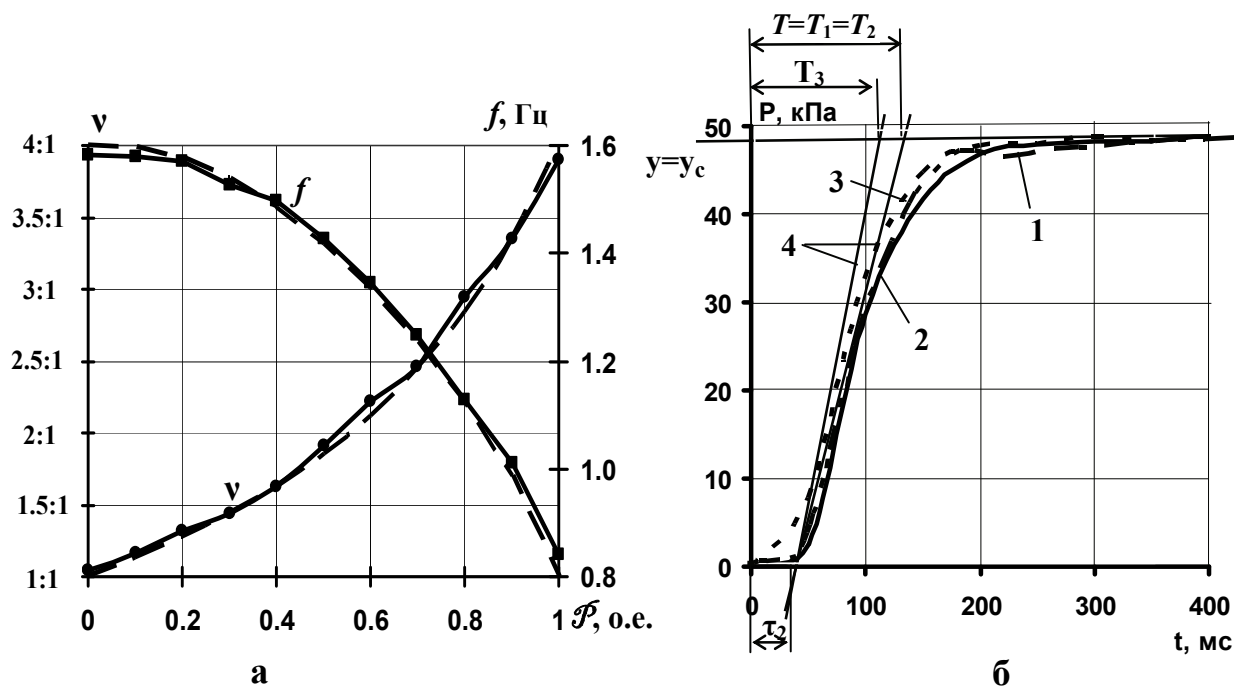
Установлено, что вакуумные управляемые пульсаторы обеспечивают из-

менение рабочих параметров в зависимости от уровня управляющего аналогового сигнала в физиологически обоснованном диапазоне (таблица 2).

Таблица 2 – Основные рабочие параметры пульсаторов

Наименование	Величина			
	Физиологически обоснованная	Существующая	Достигнутая	Рекомендуемая
1. Соотношение тактов, о.е.	от 1:1 до 4:1	2,3:1	от 1:1 до 8:1 неустойчиво	от 1:1 до 4:1 устойчиво
2. Частота пульсаций, Гц	2,2 – 0,8	1; 1,2 фиксировано	2,2 – 0,8 неустойчиво	2,2 – 1,2 устойчиво
3. Глубина вакуума под соском, кПа	$0,5P_{\text{пит}} - P_{\text{пит}}$	53 и 48 фиксировано	$0,5P_{\text{пит}} - 0,8P_{\text{пит}}$ и далее скачком до $P_{\text{пит}}$	$0,5P_{\text{пит}} - 0,8P_{\text{пит}}$ и далее скачком до $P_{\text{пит}}$

В ходе экспериментальных исследований сравнивались два варианта пневматической схемы управления двух-трехтактного доильного аппарата: элемент ИЛИ расположен на выходе пульсатора либо на входе управляющей камеры коллектора (рисунок 5б).



а – изменение параметров управляемого пульсатора в зависимости от величины управляющего сигнала:

————— – экспериментальные значения; - - - - - – теоретические значения;

б – переходные характеристики системы управления доильного аппарата:

1 – переходная характеристика распределительной камеры коллектора; 2, 3 – переходные характеристики управляющей камеры коллектора при расположении элемента ИЛИ на выходе пульсатора и входе коллектора; 4 – касательные к переходным функциям

Рисунок 5 – Результаты экспериментальных исследований

При расположении элемента ИЛИ на выходе пульсатора запаздывания по

фазе и рассогласования действия переменного вакуума в управляющей и распределительной камерах коллектора не происходит, что обеспечивает эффективную работу пневматической схемы управления доильного аппарата, причем это происходит независимо от места расположения элемента. Следовательно, выполняется теоретическое условие эффективной работы схемы управления доильного аппарата – равенство постоянных времени распределительной и управляющей камер коллектора $T_1 = T_2 = 0,13$ с. При сравнении полученных переходных характеристик управляющей камеры было установлено, что время запаздывания сигнала τ изменяется от 0 при расположении элемента ИЛИ непосредственно у коллектора до 0,03 с при расположении элемента на выходе пульсатора, т.е. при максимальном удалении его от коллектора, а постоянная времени T увеличивается с 0,1 с ($T_3 = 0,1$ с) до 0,13 с. Такое небольшое изменение постоянной времени не оказывает влияния на работу доильного аппарата.

На основе проведенных исследований к управляемому пульсатору разработан блок двух элементов ИЛИ, который можно устанавливать в любом месте в разрезе шланга переменного вакуума или непосредственно в пульсаторе.

На основе разработанных теоретических положений был произведен расчет параметров пульсатора по ранее опубликованным результатам экспериментальных исследований ВИЭСХ (В.Ф.Королев. Доильные машины. М., 1969, С. 73). Он показал, что положения предложенной теории вакуумных пульсаторов также подтверждаются и ранее опубликованными результатами экспериментальных исследований.

В пятой главе «Производственная проверка и определение экономической эффективности управляемого пульсатора в составе управляемого доильного аппарата» представлены результаты производственной проверки и оценки экономической эффективности управляемого пульсатора в составе управляемого доильного аппарата.

Проверка управляемого доильного аппарата проводилась в ФГУП «Экспериментальное» Зерноградского района Ростовской области на молочной ферме при стойловом содержании коров с доением на доильной установке ДАС-2В со сбором молока в доильные ведра. При этом доильный аппарат, включающий управляемый пульсатор, сравнивали с серийным аппаратом АДУ-1.

Производственная проверка подтвердила эффективность предлагаемого пульсатора в составе управляемого доильного аппарата. Было установлено, что он прост и надежен в работе, стабильно выполняет функции контроля за процессом доения, обеспечивает быстрое и полное выдаивание, своевременное отключение в конце доения. Анализ результатов проверки показал, что управляемый доильный аппарат более эффективно осуществляет процесс доения по сравнению с серийным аппаратом АДУ-1.

Использование управляемого доильного аппарата с управляемым пульсатором исключает необходимость контроля за процессом доения, машинного додаивания коров, отключения и снятия доильных стаканов, что снижает затраты времени на ручные операции на 39 с и позволяет доярке обслуживать в стойлах вместо двух – четыре аппарата. Достигается снижение трудоемкости при доении в стойлах на 24%, при этом исключается передержка доильных стаканов на сосках («сухое доение») и травмирование вымени вакуумом.

Снижение эксплуатационных затрат при использовании доильного аппарата с управляемым пульсатором составит 41%. Годовой экономический эффект от внедрения аппарата составит 1,57 тыс. руб. на корову. Срок окупаемости дополнительных капиталовложений составит менее года.

ОБЩИЕ ВЫВОДЫ

1. На основе проведенных ранее в СКНИИМЭСХ исследований установлено, что любой вакуумный пульсатор доильного аппарата, являющийся автоматическим устройством, работающим по алгоритму самонастраивающейся на оптимальные параметры гистерезисной петли, возможно использовать в процессе доения для управления соотношением тактов, частотой пульсаций и глубиной вакуума под соском в физиологически обоснованных пределах в зависимости от интенсивности и фазы молоковыведения.

2. Установлено, что все члены правых частей уравнений математических моделей управляемых пульсаторов, за исключением аналогового управляющего сигнала $\mathcal{P}$, есть величины постоянные, а потому положение в координатном поле гистерезисной петли зависит только от величины этого управляющего сигнала, любое изменение величины которого вызывает адекватные изменения основных параметров пульсатора. При $\mathcal{P} = 0$ гистерезисная петля в координатном поле занимает самое низкое положение, а при увеличении управляющего сигнала $\mathcal{P}$, параметры $P_{\text{ср}}$, $P_{\text{отп}}$ и λ , увеличиваясь всегда на одинаковую величину, по оси ординат остаются с «несжимаемой» базой $\Delta P = P_{\text{ср}} - P_{\text{отп}} = \text{const}$. При максимальном значении $\mathcal{P} = 1$ петля занимает самое верхнее положение.

3. Установлено, что в зависимости от величины управляющего сигнала управляемые пульсаторы изменяют параметры в заданных физиологически обоснованных пределах: соотношение тактов от 1:1 до 4:1, фаза сосания от 0,5 до 0,8 о.е., частота пульсаций от 1,6 до 0,8 Гц и величина вакуума под соском плавно от 25 до 40 кПа при величине вакуума питания 50 кПа и выше скачком до величины вакуума питания.

4. Установлено, что при переносе входящего в схему управления доильного аппарата АДД-2/3 элемента ИЛИ от коллектора к пульсатору время запаздывания сигнала к управляющей камере коллектора изменяется от 0 до 0,03 с, а ее постоянная времени увеличивается с 0,1 с до 0,13 с, что не оказывает влияния на процесс доения.

5. В результате производственной проверки была подтверждена эффективность предлагаемого пульсатора в составе управляемого доильного аппарата. Его применение исключает необходимость контроля за процессом доения и машинного додаивания коров, что сокращает трудоемкость на 24%. При этом исключается передержка доильных стаканов и травмирование вымени вакуумом, а установка вакуум-регуляторов в системе питания доильных установок не обязательна. Использование управляемого доильного аппарата с управляемым пульсатором при доении в стойлах позволяет получить значительный экономический эффект, который составляет 1,57 тыс. руб. на корову и 19,6 тыс. руб. на один доильный аппарат. Срок окупаемости дополнительных капиталовложений составит менее года.

**Основные положения диссертации опубликованы в 27 работах,
основными из которых являются следующие:**

- в рецензируемых научных журналах и изданиях:

1. Бахчевников, О.Н. Совершенствование технологии доения коров в стойлах. / И.К.Винников, О.Н.Бахчевников, Ю.В.Пахомов. – Техника в сельском хозяйстве. – 2012. – №5. – С. 21-25.

2. Бахчевников, О.Н. Управляемый вакуумный пульсатор стойлового доильного аппарата. / И.К.Винников, О.Н.Бахчевников. – Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 2013. – №6. – С. 7-9.

3. Бахчевников О.Н. Расчет параметров пульсатора доильных аппаратов. / И.К.Винников, О.Н.Бахчевников. – Техника в сельском хозяйстве. – 2013. – №6. – С. 12-14.

4. Бахчевников О.Н. Методика инженерного расчета вакуумных пульсаторов доильных аппаратов / И.К.Винников, О.Н.Бахчевников. – Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 2014. – №1. – С. 3-6.

- патенты:

5. Патент №2423822 RU A01J 5/00. Передвижной доильный модуль. / И.К.Винников, Л.П.Кормановский, О.Н.Бахчевников, Ю.В.Пахомов / Заявл. 08.02.2010; опубл. 20.07.2011. – Бюл. №20.

6. Патент №2440716 RU A01J 5/00. Двухрежимный доильный аппарат. / И.К.Винников, Ю.В.Пахомов, О.Н.Бахчевников, А.В.Коваленко, И.А.Шелушина / Заявл. 09.03.2010; опубл. 27.01.2012. – Бюл. №3.

- в книгах и брошюрах:

7. Бахчевников, О.Н. Технологический регламент автоматизированного доения коров. / И.К.Винников, О.Н.Бахчевников, Ю.В.Пахомов, И.А.Шелушина. – Зерноград: СКНИИМЭСХ, 2011. – 47 с.

8. Бахчевников, О.Н. Организационно-технологический проект автоматизированной системы устойчивого производства молока. / И.К.Винников, О.Б.Забродина, О.Н.Бахчевников, Е.В.Бенова, Ю.В.Пахомов, И.А.Шелушина. – Зерноград: СКНИИМЭСХ, 2011. – 87 с.

- в сборниках научных трудов:

9. Бахчевников О.Н. Обоснование способа автоматизированного доения коров в стойлах. / О.Н.Бахчевников. – Инновационные технологии – основа эффективного развития агропромышленного комплекса России: Сборник научных трудов международной науч.-техн. конференции СКНИИМЭСХ. – Зерноград, СКНИИМЭСХ, 2010. – С. 11-17.

10. Бахчевников, О.Н. Современные технология и технические средства для автоматизации доения коров в стойлах. / О.Н.Бахчевников. – Энергоресурсосберегающие технологии и технические средства для их обеспечения в сельскохозяйственном производстве: материалы международной научн.-практ. конференции молодых ученых. – Минск: НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства, 2010. – С. 225-229.

11. Бахчевников О.Н. Автоматизация доения коров в стойлах и на пастбищах. / О.Н.Бахчевников, Ю.В.Пахомов. – Состояние и перспективы развития

сельскохозяйственного машиностроения: материалы международной науч.-практ. конференции 2 - 3 марта 2011 г., г. Ростов-на-Дону. В рамках 14-й международной агропромышленной выставки «Интерагромаш-2011». – Ростов-на-Дону, 2011. – С. 81-83.

12. Бахчевников О.Н. Новые способы и средства для комплексной модернизации доения коров в стойлах. / И.К.Винников, О.Н.Бахчевников, Ю.В.Пахомов, И.А.Шелушина. – Инновации в животноводстве: разработка, исследования испытания. – Сборник научных трудов 7-й международной научн.-практ. конференции «Агроинженерная наука в повышении энергоэффективности АПК». – Зерноград: ГНУ СКНИИМЭСХ, 2012. – С.3-11.

13. Бахчевников О.Н. Совершенствование машинного доения коров в стойлах. / И.К.Винников, О.Н.Бахчевников. – Состояние и перспективы развития сельскохозяйственного машиностроения: материалы 6-й международной науч.-практ. конференции 26 февраля – 1 марта 2013 г., г. Ростов-на-Дону. В рамках 16-й международной агропромышленной выставки «Интерагромаш-2013». – Ростов-на-Дону, 2013. – С. 25-27.

14. Бахчевников, О.Н. Обоснование выбора рациональных схем вакуумных пульсаторов для управляемых доильных аппаратов. / И.К.Винников, О.Н.Бахчевников, Ю.В.Пахомов. – Разработка инновационных технологий и технических средств для АПК. – Ч.II.: Сборник научных трудов 8-й международной научн.-практ. конференции «Инновационные разработки для АПК». – Зерноград: СКНИИМЭСХ, 2013. – С. 86-94.

15. Бахчевников, О.Н. Результаты теоретических исследований характеристик и параметров пульсатора управляемого доильного аппарата. / И.К.Винников, О.Н.Бахчевников. – Разработка инновационных технологий и технических средств для АПК. – Ч.II.: Сборник научных трудов 8-й международной научн.-практ. конференции «Инновационные разработки для АПК». – Зерноград: СКНИИМЭСХ, 2013. – С. 78-86.

16. Бахчевников, О.Н. Методика инженерного расчета и выбора параметров вакуумных пульсаторов для управляемых доильных аппаратов. / И.К.Винников, О.Н.Бахчевников. – Разработка инновационных технологий и технических средств для АПК. – Ч.II.: Сборник научных трудов 8-й международной научн.-практ. конференции «Инновационные разработки для АПК». – Зерноград: СКНИИМЭСХ, 2013. – С. 94-101.

17. Бахчевников, О.Н. Обоснование выбора рациональных схем вакуумных пульсаторов стойловых доильных автоматов. / И.К.Винников, О.Н.Бахчевников. – Механізація та електрифікація сільського господарства. – Випуск 98. – Т.2. – Глеваха: ННЦ ИМЭСХ, 2013. – С. 45-51.

18. Бахчевников, О.Н. Модели, характеристики и параметры управляемого вакуумного пульсатора. / И.К.Винников, О.Н.Бахчевников. – Механізація та електрифікація сільського господарства. – Випуск 98. – Т.2. – Глеваха: ННЦ ИМЭСХ, 2013. – С. 52-58.

19. Бахчевников, О.Н. Методика инженерного расчета параметров пульсаторов стойловых доильных автоматов. / И.К.Винников, О.Н.Бахчевников. – Механізація та електрифікація сільського господарства. – Випуск 98. – Т.2. – Глеваха: ННЦ ИМЭСХ, 2013. – С. 59-66.

Подписано в печать 08.04.2014г. Формат 60×84 1/16
Объем 1,0 п.л. Тираж 150 экз. Заказ 1-2014
Печатно-множительная группа СКНИИМЭСХ