

На правах рукописи



Яловой Дмитрий Иванович

**ОБОСНОВАНИЕ КОНСТРУКТИВНО-РЕЖИМНЫХ ПАРАМЕТРОВ
ДОИЛЬНОГО АППАРАТА НЕПРЕРЫВНОГО ДОЕНИЯ**

05.20.01 – Технологии и средства механизации сельского хозяйства

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Воронеж – 2017

Работа выполнена на кафедре безопасности жизнедеятельности, механизации животноводства и переработки сельскохозяйственной продукции федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I» (Воронежский ГАУ).

Научный руководитель доктор сельскохозяйственных наук
Антрианов Евгений Александрович

Официальные оппоненты: **Ульянов Вячеслав Михайлович,**
доктор технических наук, профессор,
ФГБОУ ВО «Рязанский государственный
агротехнологический университет имени
П.А. Костычева», заведующий кафедрой
«Технические системы в АПК»;

Чехунов Олег Андреевич,
кандидат технических наук, доцент,
ФГБОУ ВО «Белгородский государственный
аграрный университет имени В.Я. Горина»,
доцент кафедры «Машины и оборудование
в агробизнесе»

Ведущая организация Азово-Черноморский инженерный институт –
филиал федерального государственного бюд-
жетного образовательного учреждения высшего
образования «Донской государственный аграр-
ный университет» в г. Зернограде (Азово - Чер-
номорский инженерный институт ФГБОУ ВО
Донской ГАУ)

Защита состоится 29 июня 2017 г. в 14 часов 00 минут на заседании дис-
сертационного совета Д 220.010.04, созданного на базе Воронежского ГАУ, по
адресу: 394087, г. Воронеж, ул. Тимирязева, д. 13, учебный корпус агроинже-
нерного факультета (корпус № 3), аудитория 319.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Воронежского ГАУ и
на сайте www.vsau.ru («Информация о деятельности диссертационных советов»
– «Защиты» – «Д 220.010.04»), а также по ссылке: <http://ds.vsau.ru/?cat=27>.

Автореферат разослан 28 апреля 2017 г.

Ученый секретарь

диссертационного совета



Афоничев Дмитрий Николаевич

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. В настоящее время важной задачей является дальнейшее повышение эффективности отрасли молочного скотоводства, которое должно базироваться на применении современных технологий и технических средств, имитирующих параметры лактирующих коров. Неадекватность воздействий современных доильных аппаратов физиологии животного является причиной недостаточной эффективности машинного доения и заболеваемости коров маститом. Для более полной реализации генетического потенциала коров необходимо использование конструкции высокопроизводительного доильного аппарата, адекватного физиологии животного.

Одним из резервов повышения производительности доильных аппаратов является исключение тактов, в течение которых выведение молока из вымени прекращается, что позволит повысить пропускную способность доильного аппарата и обеспечить высокую скорость и безопасность доения. Диссертация выполнена в рамках научно-исследовательской работы агроинженерного факультета «Инновационные направления совершенствования процессов и технических средств механизации и электрификации сельскохозяйственного производства», утвержденной ученым советом ВГАУ (№ 01.200.1-003986).

Степень разработанности темы. Анализ способов и средств доения, изложенных в работах Борисова Д.С., Борознина В.А., Волкова И.Е., Гордиевских М.Л., Карташова Л.П., Квашенникова В.И., Кирсанова В.В., Краснова И.Н., Королева В.Ф., Лукманова Р.Р., Ужика В.Ф., Ульянова В.М., Утолина В.В., Цоя Ю.А., Шахова В.А., Щукина С.И. и других авторов, показал, что вопрос безопасного молоковыведения требует дальнейшего изучения и исследования.

Проведенный анализ литературных и патентных источников показал следующее: используемые в настоящее время доильные аппараты работают при высоком вакууме и в несколько тактов (сосание и разгрузки), что снижает их пропускную способность и зачастую способствует возникновению мастита у коров и снижению их продуктивности.

Целью работы является повышение эффективности машинного доения коров путем разработки доильного аппарата непрерывного доения с обоснованием параметров и режимов его работы.

Задачи исследований:

- определить направление совершенствования доильных аппаратов и разработать конструктивно-технологическую схему доильного аппарата непрерывного доения;
- теоретически и экспериментально обосновать конструктивно-режимные параметры доильного аппарата непрерывного доения;
- выявить рациональные конструктивные параметры и режимы работы доильного аппарата непрерывного доения;
- произвести проверку разработанного доильного аппарата непрерывного доения в производственных условиях, определить экономическую эффективность его применения.

Объектом исследования является рабочий процесс доильного аппарата непрерывного доения.

Предметом исследования являются закономерности изменения технологических показателей доильного аппарата непрерывного доения.

Научная новизна:

- конструктивно-технологическая схема доильного аппарата непрерывного доения, отличающаяся усовершенствованной конструкцией доильного стакана;

- аналитические зависимости для определения конструктивно-режимных параметров доильного аппарата непрерывного доения, отличающиеся учетом особенностей предложенного технического решения элементов доильного аппарата;

- результаты экспериментальных исследований доильного аппарата непрерывного доения, отличающиеся тем, что определены для варианта с усовершенствованной конструкцией доильного аппарата;

- результаты производственных испытаний доильного аппарата непрерывного доения.

Теоретическая и практическая значимость работы. Обоснована возможность повышения производительности доильного аппарата. Аналитические зависимости для определения рациональных параметров и режимов работы доильного аппарата непрерывного доения углубляют знания в области теории доильных аппаратов.

Предложенные технические решения, защищенные патентами на изобретения, позволят повысить эффективность машинного доения коров.

Результаты теоретических и экспериментальных исследований могут быть использованы при разработке доильных аппаратов непрерывного доения.

Методология и методы исследования. При проведении теоретических исследований были использованы известные законы физики, теоретической механики и математики. Теоретические исследования проводились на основе математического моделирования рабочих процессов технических средств с использованием дифференциального и интегрального исчисления с целью получения расчетных формул, которые позволили установить конструктивно-режимные параметры работы доильного аппарата непрерывного доения. При проведении экспериментальных исследований применялись общеизвестные методики и разработанные на их базе – частные. Лабораторные и производственные испытания проводились с использованием современных электронных и механических устройств и приборов, а также специально разработанных и изготовленных установок. Обработка экспериментальных данных в исследованиях осуществлялась методом математической статистики с использованием ПК и современных компьютерных программ: STATISTICA, Mathematica, Mathcad, Maple, Microsoft Excell.

Положения, выносимые на защиту:

- конструктивно-технологическая схема доильного аппарата непрерывного доения, позволяющая повысить производительность и безопасность доения;

- аналитические зависимости по обоснованию параметров и режимов работы доильного аппарата непрерывного доения;

- результаты лабораторных исследований по определению давления сосковой резины на сосок и производительности аппарата, позволяющие установить рациональные конструктивно-режимные параметры доильного аппарата непрерывного доения и оценить эффективность предложенных технических решений;

- результаты проверки разработанного доильного аппарата непрерывного доения в производственных условиях.

Степень достоверности и апробации результатов. Результаты получены с применением современных апробированных теоретических подходов, реализацией аналитических зависимостей на ЭВМ, планированием и проведением эксперимента, результатами внедрения в производство. Достоверность научных положений подтверждена достаточной сходимостью результатов теоретических и экспериментальных исследований, применением современных методик и средств обработки результатов экспериментов, патентными исследованиями.

Основные положения диссертационной работы доложены и обсуждены: на научно-практических конференциях ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ (г. Воронеж, 2014-2017 г.); на международных научно-производственных конференциях «Проблемы и перспективы инновационного развития агроинженерии, энергоэффективности и it-технологий» (г. Белгород, 2014-2015г.); на международной научно-практической конференции молодых ученых и специалистов (г. Воронеж, 2014 г.); на международной научно-практической конференции «Научно-практические аспекты ресурсосберегающих технологий производства продукции и переработки отходов АПК» (г. Воронеж, 2014 г.); на международной научно-практической конференции «Агропромышленный комплекс на рубеже веков» (г. Воронеж, 2015 г.); на международной научно-практической конференции «Инновационные направления развития технологий и технических средств механизации сельского хозяйства» (г. Воронеж, 2015 г.); на международной научной конференции «Наука и образование в современных условиях» (г. Воронеж, 2016 г.); на международной научно-практической конференции «Современные тенденции развития технологий и технических средств в сельском хозяйстве» (г. Воронеж, 2017 г.).

Результаты диссертационной работы используются в учебном процессе Воронежского ГАУ при подготовке бакалавров и магистров.

Личный вклад соискателя. Личный вклад соискателя заключается в постановке задач исследования, выборе методов, разработке методики исследований, выполнении математических расчетов, получении аналитических зависимостей и реализации их на ЭВМ, усовершенствовании конструкции доильного аппарата, разработке лабораторной установки, получении экспериментальных данных, формулировке выводов.

Публикации. По теме диссертации опубликовано 15 работ, в том числе 4 в изданиях, рекомендованных ВАК Минобрнауки РФ, 2 в описаниях к патентам, 7 в материалах международных конференций, 2 в других изданиях.

Структура и объем диссертационной работы. Диссертационная работа включает введение, пять глав, заключение, список использованных источников (120 наименований) и приложения. Общий объем работы составляет 175 страниц, содержит 49 рисунков, 17 таблиц, 21 приложение.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении отражена: актуальность, степень разработанности темы, цель и задачи исследований, научная новизна, теоретическая и практическая значимость, методология и методы исследований, положения, выносимые на защиту, степень достоверности и апробацию результатов.

В первой главе «Состояние вопроса, цель и задачи исследования» дан обзор и показано влияние технико-технологических параметров доильного аппарата на показатели машинного доения коров, а также выполнен анализ результатов исследований в этом направлении. Анализ научных работ показывает, что процесс машинного доения требует дальнейшего совершенствования и конструкции доильных аппаратов имеют недостатки: требуют проведения подготовительных и заключительных операций, выполняемых, как правило, вручную; работают при высоком вакууме, что зачастую способствует возникновению мастита у коров и снижению их продуктивности; работают в несколько тактов (сосание и сжатие), что снижает их пропускную способность.

В связи с этим была сформулирована цель диссертационной работы и поставлены задачи исследований.

Во второй главе «Теоретическое обоснование конструктивно-режимных параметров доильного аппарата непрерывного доения» представлено обоснование производительности доильного аппарата с учетом коэффициента тактности. Предложена конструктивно-технологическая схема доильного аппарата непрерывного доения, дано описание его работы. Приведены аналитические зависимости для расчета конструктивно-режимных параметров доильного непрерывного доения.

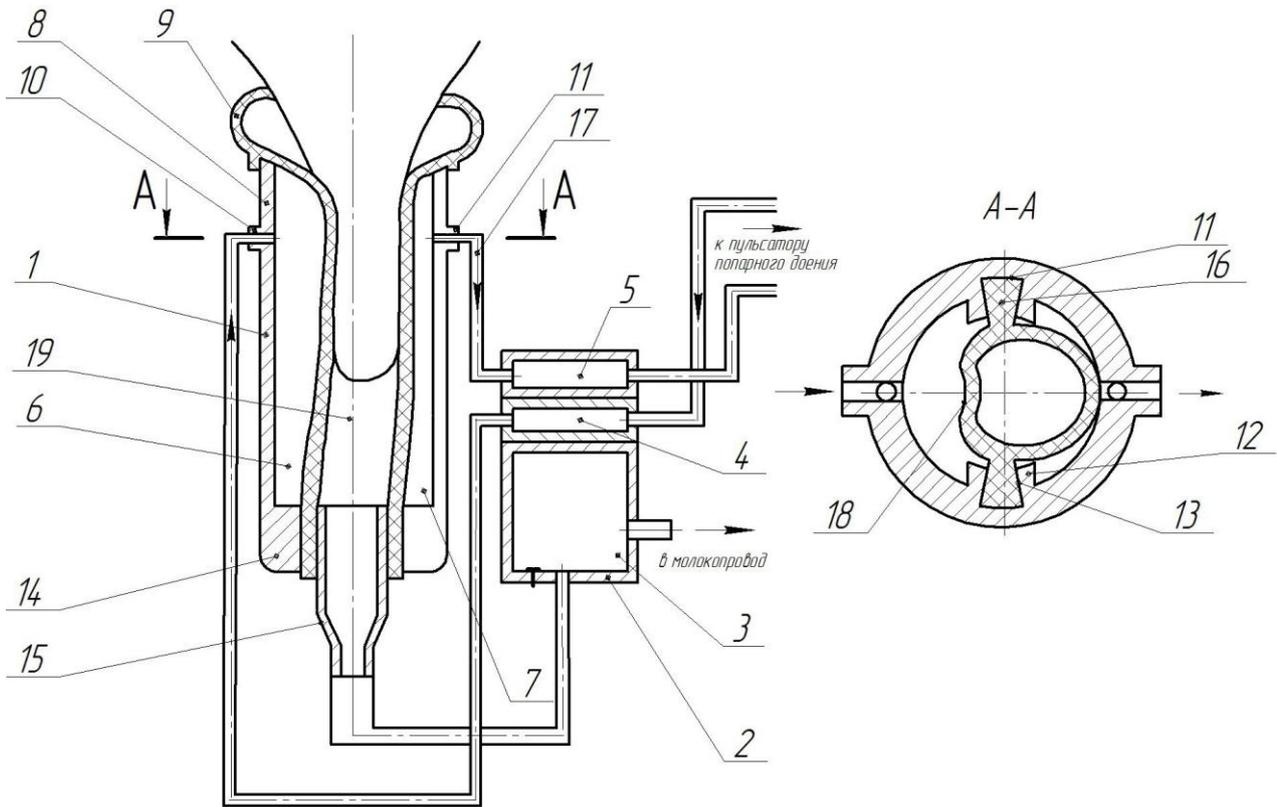
Производительность доильного аппарата можно определить по формуле

$$Q = \kappa_m \cdot v \cdot \omega \quad (1)$$

где κ_m – коэффициент тактности, учитывающий снижение производительности аппарата в такте разгрузки ($\kappa_m = 0,5-0,7$ для двухтактного доильного аппарата, так как длительность такта сосания составляет 50-70% от цикла); v – средняя скорость истечения молока, м/с; ω – площадь живого сечения выводного канала соска, м².

Кроме того, большинство доильных аппаратов работают при гораздо большем вакууме, чем создаваемым теленком в естественных условиях при сосании молока. Поэтому для эффективного доения коров доильным аппаратом процесс отсасывания молока желательно сделать непрерывным, и, в то же время, обеспечить необходимую стимуляцию молокоотдачи, которая при частичном сжатии сосковой трубки не достигается в известных аппаратах непрерывного отсоса. На наш взгляд, перспективна конструкция доильного аппарата, при работе которого молоко непрерывно отсасывается, причем при одностороннем сжатии сосковой трубки. Конструктивно-технологическая схема предлагаемого доильного аппарата непрерывного доения (патент РФ № 2556910) представлена на рисунке 1.

Доильный аппарат работает следующим образом. Вакуумметрическое давление постоянно действует в подсосковой камере 19, а при открытой камере пульсатора по шлангу 17 оно также распространяется в межстенную камеру 7 доильного стакана 1 через распределительную камеру 5 коллектора 2, за счет чего сосковая трубка будет находиться в выпрямленном состоянии со стороны межстенной камеры 7. Одновременно атмосферное давление по шлангу поступает в межстенную камеру 6 доильного стакана 1 из рабочей камеры пульсатора через распределительную камеру 4 коллектора 2. Левая часть сосковой трубки 19 под действием вакуумметрического давления в подсосковой камере постепенно сжимается.



1 - доильные стаканы; 2 - коллектор; 3 - молочная камера; 4,5- распределительные камеры; 6,7 - межстенные камеры; 8 - гильза; 9 - сосковая трубка; 10, 11 - воздушные патрубки; 12 - продольные выступы; 13 - трапецидальные проточки; 14 - утолщённый бурт; 15 - смотровой конус; 16 - трапецидальные рёбра; 17 - шланги; 18 - вогнутые участки, копирующие положение языка телёнка в момент отсасывания молока; 19 - подсосковая камера.

Рисунок 1 - Схема доильного аппарата

При этом одностороннее сжатие соска обеспечивает положительное давление, а отсос - отрицательное давление, обусловленное вакуумом под соском, что способствует одновременному выжиманию молока с одной стороны сосковой трубки и его отсасыванию, т.е. в какой-то степени копируется акт сосания телёнком. После переключения клапанов пульсатора процесс извлечения молока повторяется за счет отсоса и одностороннего сжатия соска сосковой трубкой со стороны межстенной камеры 7 доильного стакана 1. Сжатие одной стенки сосковой трубки приводит к некоторому прогибу противоположной стенки. При этом сфинктер соска остается открытым, так как левая и правая части сосковой трубки при изменении давления в межстенных камерах не являются жесткими стенками. В результате непрерывного отсоса с одновременным выжиманием молока за счет одностороннего сжатия сосков увеличивается пропускная способность аппарата при одновременном стимулировании молокоотдачи. Использование в данной конструктивно-технологической схеме доильного аппарата пульсатора попарного доения позволяет предлагаемому аппарату вместо такта сжатия использовать переходные процессы от одностороннего сжатия в одну сторону стакана с непрерывным отсосом к сосанию и наоборот.

Установлено, что для аппаратов непрерывного отсоса максимальная скорость молоковыведения наблюдается не при номинальном разрежении в межстенном пространстве доильных стаканов, а только в том случае, когда на

$$G = 2Q \frac{s}{\sqrt{s^2 + h^2}}. \quad (4)$$

При небольших деформациях силу упругости Q при единице длины сосковой резины можно определить из соотношения:

$$Q = E\Delta h \cdot b, \quad (5)$$

$$\text{где } E \text{ – модуль упругости резинового крепления, Па, } \Delta h = \frac{\sqrt{s^2 + h^2} - h}{h} \quad (6)$$

– относительное удлинение крепления, b – ширина резинового крепления, м.

Таким образом, подставляя выражения (4), (5) и (6) в формулу (3)

$$G = 2pR = 2Eb \frac{\sqrt{s^2 + h^2} - h}{h} \frac{s}{\sqrt{s^2 + h^2}} = \frac{2Esb}{h} \left(1 - \frac{h}{\sqrt{s^2 + h^2}} \right). \quad (7)$$

Из этого уравнения можно определить разрежение, необходимое для прижатия соска к стенке стакана:

$$P_n = \frac{Esb}{hR} \left(1 - \frac{h}{\sqrt{s^2 + h^2}} \right). \quad (8)$$

Для конкретных конструктивных параметров стакана: $b=0,0028$ м; $h = 0,004$ м; $s = 0,0025$ м; $R=0,028$ м; $E=2,15 \cdot 10^6$ Па – разрежение $P_n = 20,43$ кПа.

Разрежение, необходимое для одностороннего сжатия соска $P_{\text{вак}}$, можно определить по формуле:

$$P_{\text{вак}} = P_n + P_\partial, \quad (9)$$

где P_n – разрежение, необходимое для прижатия соска к стенке стакана, Па;

P_∂ – разрежение, необходимое для дальнейшего одностороннего сжатия соска, Па.

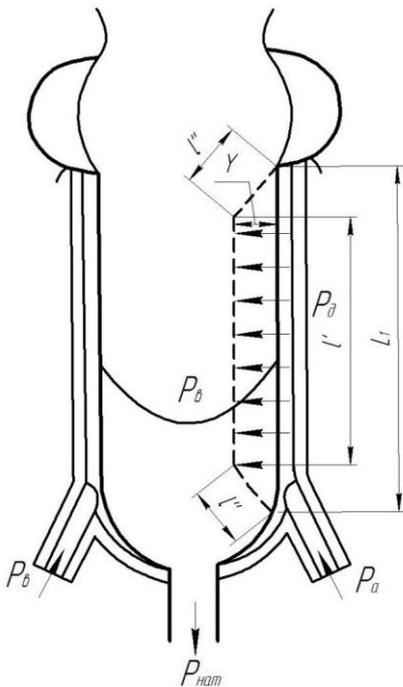


Рисунок 4 - Схема к определению давления сосковой резины на сосок

Будем считать прогиб резины прогибом балки на упругом основании, тогда $p_1 = -ky$, где y – прогиб резины с соском, м; $k = k_0 L_1$ – погонный коэффициент постели, Н/м³; а L_1 – длина сосковой резины под действием натяжения (рис. 4) в доильном стакане, м.

Дифференциальное уравнение упругой линии балки имеет вид $d^2 y / dx^2 = M / (EI)$, где EI – произведение модуля упругости на момент инерции балки, Н·м². Продифференцировав последнее уравнение два раза, получаем:

$$EI \frac{d^4 y}{dx^4} = \frac{d^2 M}{dx^2}. \quad (10)$$

Обозначим через q выражение $d^2 M / dx^2$. Для балки распределенными нагрузками будут приложенное давление и реакция упругого основания, то есть:

$$q = p + P_\partial L_1 = -ky + P_\partial L_1. \quad (11)$$

Подставляя значение (11) в формулу (10), получим: $EI(d^4 y / dx^4) + ky = P_\partial L_1$. (12)

Через β обозначив выражение $\sqrt[4]{k/4EI}$ [1/м] и решив уравнение (12) получим:

$$y(x) = e^{\beta x} (A \cos \beta x + B \sin \beta x) + e^{-\beta x} (C \cos \beta x + D \sin \beta x) + \frac{P_0 L}{k}. \quad (13)$$

Давление сосковой резины на сосок определяется по формуле: $P_c = kY$, где Y - суммарная поперечная деформация, которая складывается из максимальной поперечной деформации соска $\omega_c = y(L_1/2)$ и деформации сосковой резины ω_p и равна $Y = \omega_c + \omega_p$, $k = (k_c k_p)/(k_c + k_p)$, а k_c и k_p - соответственно коэффициенты объемной упругости соска вымени коровы и сосковой резины, Н/м³.

Максимальная поперечная деформации соска может быть определена из выражения: $\omega_c = y(L_1/2)$. Относительная продольная деформация сосковой резины $\varepsilon = \varepsilon_1 + \varepsilon_2$ складывается из относительной продольной деформации ε_1 за счет силы натяжения P_n и относительной продольной деформации ε_2 за счет приложенного давления P_0 . Относительная продольная деформация сосковой резины ε_1 за счет силы натяжения P_n определяется по формуле: $\varepsilon_1 = (L_1 - L)/L = \sigma/E = P_n/ES$, где σ - напряжение, Па, S - площадь кольца сосковой резины, м², L - длина нерастянутой сосковой резины, м. Учитывая, что $S = \pi(R_2^2 - R_1^2)$, где R_1 и R_2 - соответственно внутренний и внешний радиусы сосковой резины, (м) получаем $\varepsilon_1 = P_n/E\pi(R_2^2 - R_1^2)$, а $L_1 = L + LP_n/E\pi(R_2^2 - R_1^2)$. Относительная продольная деформация сосковой резины ε_2 за счет приложенного давления P_0 определяется по формуле: $\varepsilon_2 = (L_2 - L)/L_1$, (14) где $L_2 = l' + 2l''$ - длина сосковой резины в рабочем положении под действием разрезания, которая может быть определена по формуле:

$$L_2 = \int_0^{L_1} \sqrt{1 + y'(x)^2} dx \quad (15)$$

Так как относительная поперечная деформация резины ε' равна половине относительной продольной деформации, $\varepsilon' = \omega_p/b_1$, подставляя выражение (15) в формулу (14), получаем:

$$P_c = k \left[y(L_1/2) + b_1 \left(\frac{P_n}{2E\pi(R_2^2 - R_1^2)} + \frac{1}{2L_1} \int_0^{L_1} \sqrt{1 + y'(x)^2} dx - 0,5 \right) \right] \quad (16)$$

Для конкретных численных значений: $L = 0,13$ м и $b_1 = 0,0025$ м; $P_n = 60$ Н; $E = 2,15 \cdot 10^6$ Па; $R_1 = 0,028$ м; $R_2 = 0,023$ м; $k_c = 2 \cdot 10^6 - 5 \cdot 10^6$ Н/м³ и $k_p = 6 \cdot 10^6 - 12 \cdot 10^6$ н/м³ при $P_0 = 20$ кПа с помощью пакета Maple получим максимальный прогиб соска (рис. 5), равный 0,00666 м, $P_c = 15,3$ кПа; $P_{\text{вак}} = 20 + 20,4 = 40,4$ кПа.

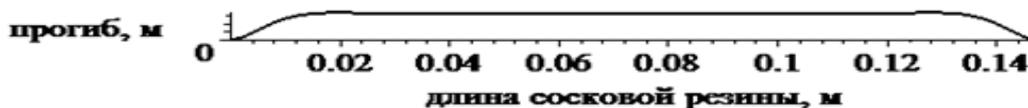


Рисунок 5 - Максимальный прогиб соска под действием давления P_0

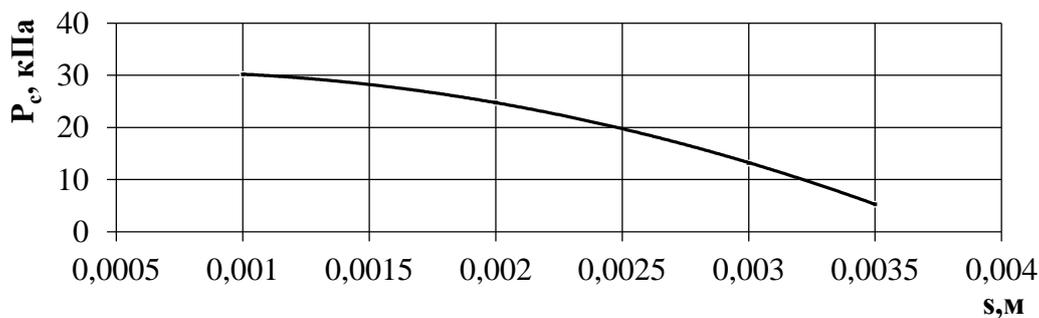


Рисунок 6 - Зависимость величины давления сосковой резины на сосок от расстояния между сосковой трубкой и стенкой доильного стакана

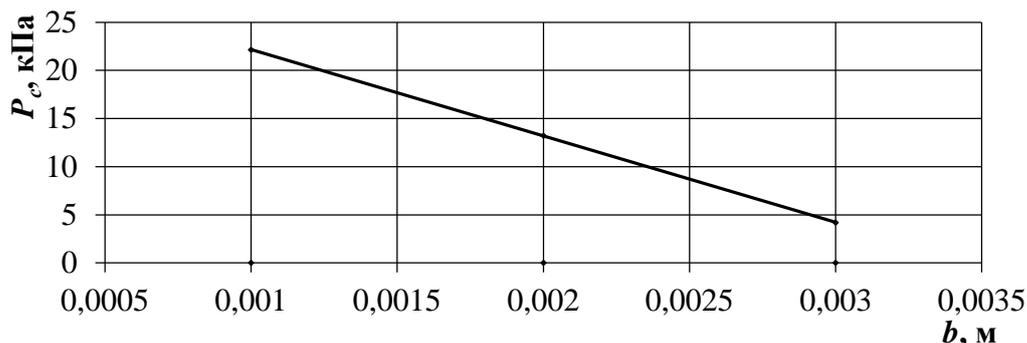


Рисунок 7 - Зависимость величины давления сосковой резины на сосок от ширины резинового крепления сосковой трубки

В результате установлено, что к уменьшению величины давления сосковой резины на сосок (рис. 6 и 7) приводит увеличение расстояния между сосковой трубкой и стенкой доильного стакана и ширины резинового крепления, а к увеличению – повышение величины рабочего вакуумметрического давления.

Считаем, что выведение молока из соска вымени происходит по аналогии с истечением жидкости через насадок. Применим уравнение Бернулли для установившегося движения молока. Допустим, что сосок вымени имеет цилиндрическую форму с постоянным внутренним сечением f , а заканчивается сосок молоковыводящим каналом с сечением f (рис. 8):

$$\frac{V_1^2}{2g} + \frac{P_1}{\rho g} + H = \frac{V^2}{2g} + \frac{P_2}{\rho g} + \xi \frac{V^2}{2g} \quad ; \quad (17)$$

где V_1, V - средние скорости выведения молока соответственно в сечениях 1-1 и 2-2, м/с; P_1, P_2 - давление молока в сечениях 1-1 и 2-2, Н/м²; H - высота молочного столба между сечениями, м; ρ -

плотность молока, кг/м³; $\xi \frac{V^2}{2g}$ - потери напора при

движении молока по соску, м; ξ - коэффициент сопротивления, который можно определить по формуле:

$$\xi = \xi_c + \xi_{тр} \quad , \quad (18)$$

где ξ_c - коэффициент сопротивления при внезапном сужении, который определяется по формуле:

$$\xi_c = (1 - f / F) / 2, \quad (19)$$

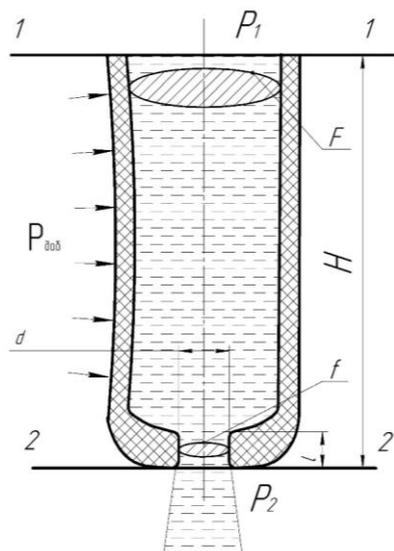


Рисунок 8 - Схема к определению скорости выведения молока на выходе из соска при одностороннем сжатии

$$a \quad \xi_{mp} = \lambda \cdot l / d, \quad (20)$$

где l - длина канала соска, м; d - диаметр канала соска, м; λ - коэффициент гидравлического трения, который для турбулентного потока определяется по формуле Альтшуля:

$$\lambda = 0,11 \cdot \left(\frac{\Delta}{d} \right)^{0,25}, \quad (21)$$

где Δ - эквивалентная абсолютная шероховатость, мм.

Таким образом, подставляя выражения (21), (20) и (19) в уравнение (17), получим:

$$\xi = \frac{1-f/F}{2} + 0,11 \cdot \left(\frac{\Delta}{d} \right)^{0,25} \cdot l/d. \quad (22)$$

Так как движение молока в соске одномерное, пользуясь неразрывностью потока для объемной пропускной способности Q , запишем $Q = V_1 F = Vf$. Так как $P_1 = P_u + P_b + P_{дооб}$, а $P_2 = P_b - P_v$, где P_u - цистернальное давление молока, Н/м²; P_b - барометрическое атмосферное давление, Н/м²; P_v - вакуумметрическое давление, Н/м²; $P_{дооб}$ - давление, возникающее в результате одностороннего сжатия соска, Н/м², подставляя формулы (21) и (22) в уравнение (17), получаем:

$$V = \sqrt{\frac{2(P_u + P_v + P_{дооб} + \rho g H) / \rho}{1,5 + 0,11 \cdot \left(\frac{\Delta}{d} \right)^{0,25} \cdot l/d - f/2F - f^2/F^2}} \quad (23)$$

Для конкретных численных значений: $P_u = 7$ кПа, $P_b = 101$ кПа, $P_v = 30, 40, 50, 60$ кПа, $P_{дооб} = 15$ кПа, $\rho = 1026$ кг/м³; $g = 9/8$ м/с²; $H = 70 \cdot 10^{-3}$ м; $\Delta = 0,1$ мм; $F = 1,7 \cdot 10^{-4}$ м; $f = 7,1 \cdot 10^{-6}$ м²; $l = 0,005$ м; $d = 0,003$ м, получим соответственно $V = 7,38; 8,05; 8,67; 9,24$ м/с (рис. 9).

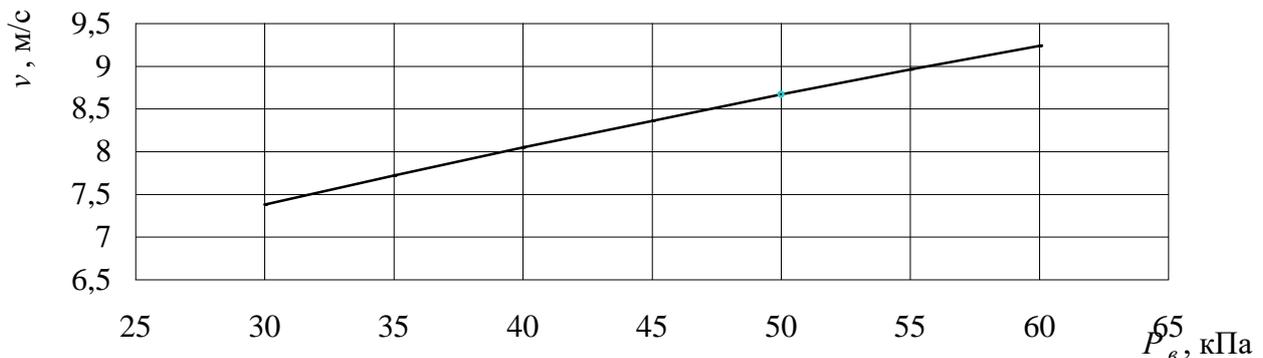
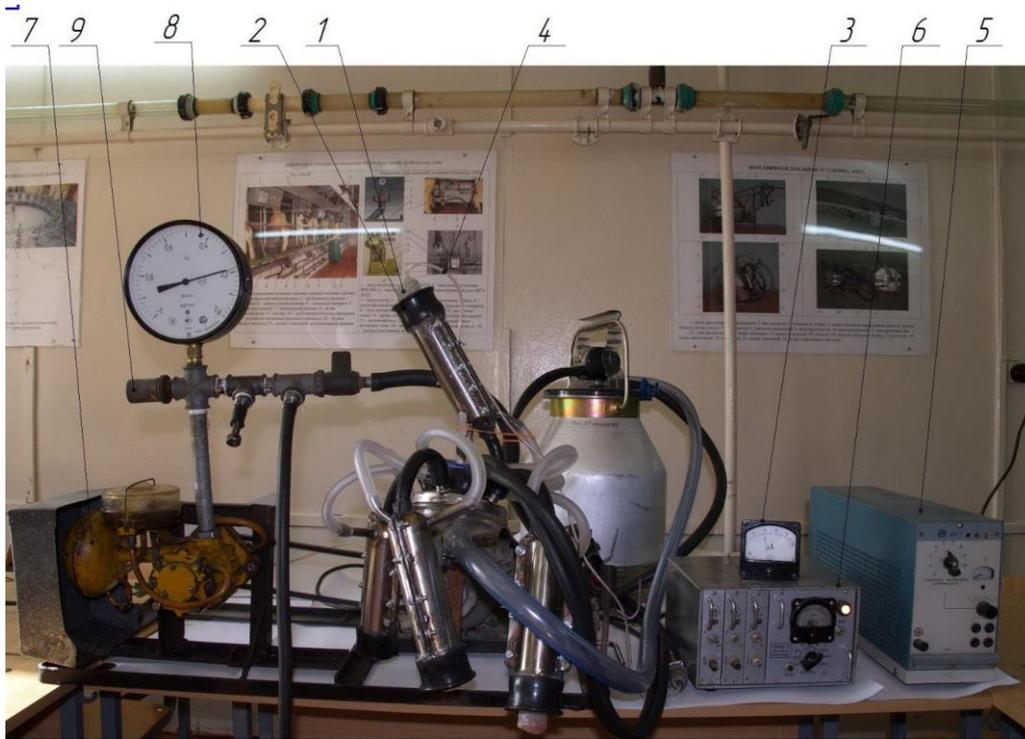


Рисунок 9 - Зависимость скорости молока на выходе из соска от величины вакуума

В результате установлено, что скорость выведения молока на выходе из соска зависит от давления молока в цистерне железы, величины вакуума в подсосковой камере и давления, возникающего в результате одностороннего сжатия соска, а также от геометрических размеров соска вымени коровы.

В третьей главе «Программа и методика экспериментальных исследований» изложены программа и методика исследований, включающая определение давления сосковой резины на сосок и производительности доильного аппарата непрерывного доения, приведено описание лабораторного оборудования.



1 - искусственный сосок с рабочим органом из тонкостенного разрезного кольца с тензодатчиками (патент РФ № 167709); 2 - доильный стакан; 3 - измерительный прибор; 4 - провода; 5 - блок питания; 6 - усилитель; 7 - индивидуальная вакуумная установка; 8 - вакуумметр; 9 - регулятор вакуума

Рисунок 10 – Общий вид станда для определения давления сосковой резины на сосок



1 - доильный аппарат; 2 - стенд «Искусственное вымя»; 3 - кран; 4 - счетчик молока; 5 - доильные стаканы; 6 - резервуар; 7 - вакуумпровод; 8 - молочные и вакуумные шланги.

Рисунок 11 - Общий вид станда для определения производительности доильного аппарата непрерывного доения

Обработка результатов исследований проводилась с помощью программ Statistica, Mathematica, Mathcad, Microsoft Excell.

В четвертой главе «Экспериментальные исследования доильного аппарата непрерывного доения» в результате обработки результатов многофакторного эксперимента получено уравнение регрессии для определения давления сосковой резины на сосок в зависимости от конструктивно-режимных параметров доильного аппарата:

$$e = 528,75 + 15083,3 x_1 + 1,54167 \cdot 10^6 x_1^2 - 25,3125 x_2 - 500 x_1 x_2 + 0,322917 x_2^2 - 2791,67 x_3 - 1 \cdot 10^6 x_1 x_3 - 125,0 x_2 x_3 + 1,29167 x_3^2, \quad (24)$$

где x_1 - ширина резинового крепления сосковой трубки, м; x_2 - величина рабочего вакуумметрического давления, кПа; x_3 - расстояние между сосковой трубкой и стенкой доильного стакана, м.

Полученное уравнение регрессии позволяет найти величину давления сосковой резины на сосок вымени в доильном аппарате непрерывного доения в пределах выбранных интервалов варьирования уровней факторов эксперимента.

С помощью компьютерного статистического пакета программ “Statistica” построены графические зависимости частных сечений, характеризующие величину давления сосковой резины на сосок P (кПа), при фиксированных значениях ширины резинового крепления сосковой трубки, величины рабочего вакуумметрического давления и расстояния между сосковой трубкой и стенкой доильного стакана (рис. 12, 13).

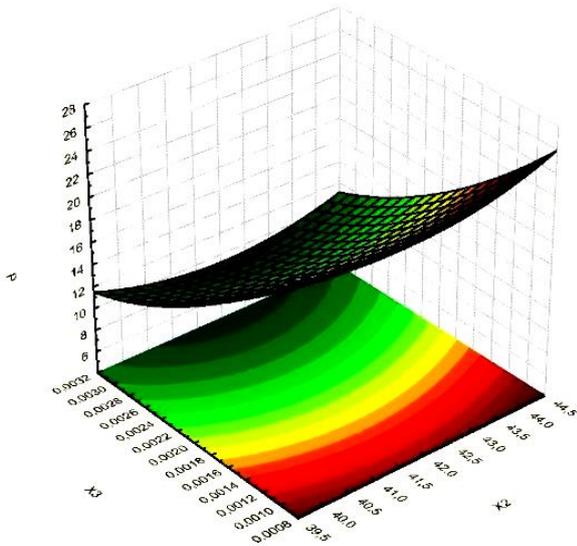


Рисунок 12 – Поверхность отклика, характеризующая величину давления сосковой резины на сосок от вакуумметрического давления P и расстояния между сосковой трубкой и стенкой доильного стакана s

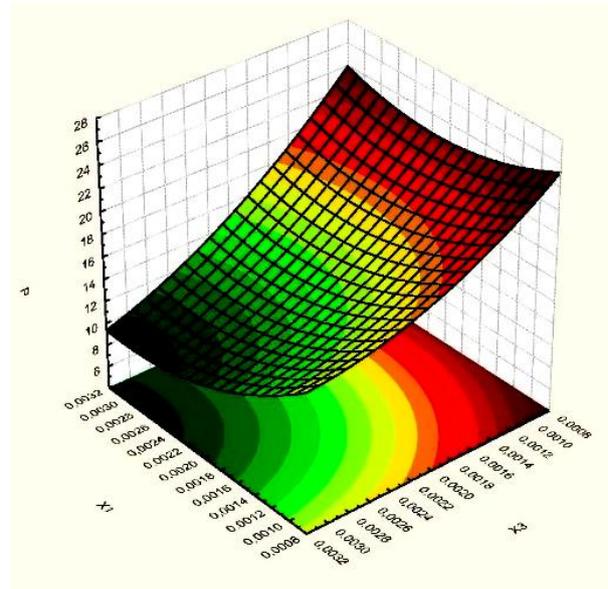


Рисунок 13 – Поверхность отклика, характеризующая величину давления сосковой резины на сосок в зависимости от ширины резинового крепления сосковой трубки b и расстояния между сосковой трубкой и стенкой доильного стакана s

С целью определения численных значений рациональных факторов, был проведен анализ сравнительных графических зависимостей факторов эксперимента (рис. 14). Так, задано рабочее вакуумметрическое давление 40 - 42 кПа, ограничив давление сосковой резины на сосок в пределах 10-15 кПа.

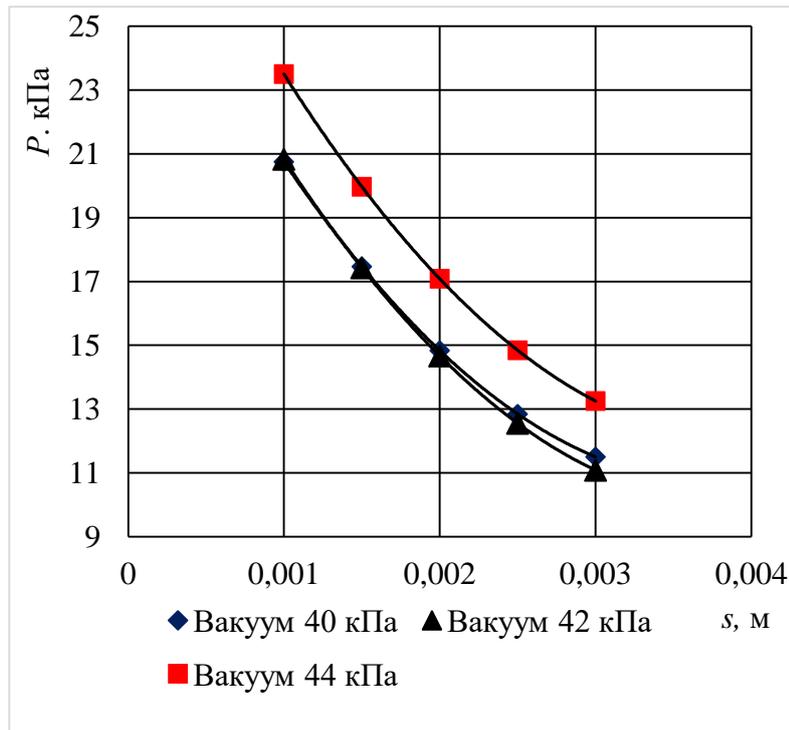


Рисунок 14 – Графические зависимости величины давления сосковой резины на сосок от расстояния между сосковой трубкой и стенкой доильного стакана s при заданной ширине резинового крепления сосковой трубки $b = 0,002$ м и различном вакуумметрическом давлении P

Установлены следующие рациональные конструктивно - режимные параметры доильного аппарата непрерывного доения: расстояние между сосковой трубкой и стенкой доильного стакана - 0,003 м, ширина резинового крепления сосковой трубки 0,003 м, вакуумметрическое давление - 40...42 кПа.

При обработке результатов многофакторного эксперимента получены уравнения регрессии для определения производительности доильного аппарата при работе с соотношением тактов пульсатора 60/40 и 70/30 в зависимости от режимных параметров:

$$e = -1,24333 + 0,106667x_1 + 0,94x_2 - 0,036x_1x_2, \quad (25)$$

$$e = 3,55333 - 0,0366667x_1 - 2,46x_2 + 0,08x_1x_2, \quad (26)$$

где x_1 - величина рабочего

вакуумметрического давления, Па; x_2 - частота пульсаций вакуума, Гц. Полученные уравнения регрессии позволяют найти величину объемного выхода молока в доильном аппарате непрерывного доения в пределах выбранных интервалов варьирования уровней факторов эксперимента. С помощью компьютерного статистического пакета программы «Statistica» построены графические зависимости частных сечений, характеризующие производительность аппарата (рис. 15, 16). Анализ зависимостей показывает, что к увеличению величины производительности аппарата приводит увеличение вакуумметрического давления. Однако увеличение частоты пульсаций вакуума f приводит к снижению производительности аппарата при работе с соотношением тактов пульсатора 60/40 и к увеличению производительности при работе с соотношением тактов пульсатора 70/30.

Установлены следующие рациональные режимные параметры доильного аппарата непрерывного доения: вакуумметрическое давление - 40 кПа, частота пульсаций вакуума - 1,5 Гц, соотношение тактов сосания и сжатия - 70/30.

На рис. 17 представлены теоретическая и экспериментальная зависимости величины давления сосковой резины на сосок от вакуумметрического давления для оценки сходимости исследований.

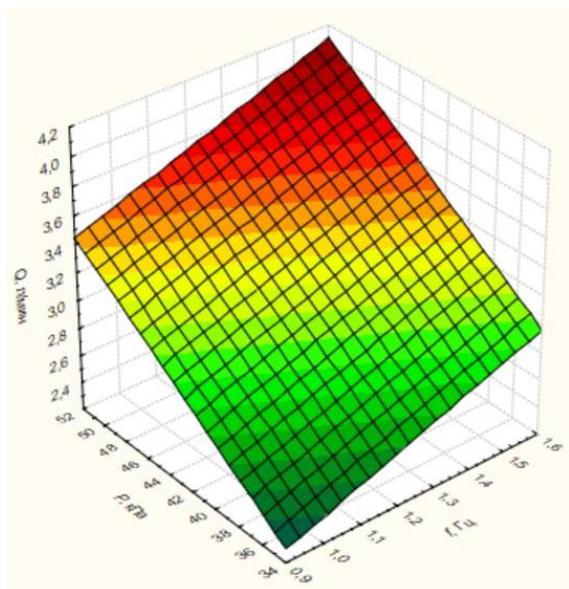


Рисунок 15 – Поверхность отклика, характеризующая величину производительности доильного аппарата Q в зависимости от вакуумметрического давления P и частоты пульсаций вакуума f при соотношении тактов пульсатора 70/30

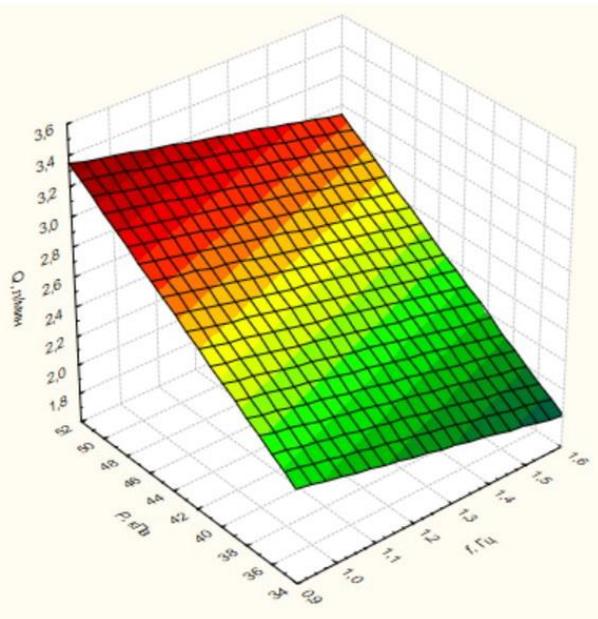


Рисунок 16 – Поверхность отклика, характеризующая величину производительности доильного аппарата Q в зависимости от вакуумметрического давления P и частоты пульсаций вакуума f при соотношении тактов пульсатора 60/40

Анализ графических зависимостей показывает, что в среднем ошибка сходимости результатов исследований не превышает 12%, следовательно, аналитические зависимости могут быть использованы для обоснования конструктивных параметров доильного аппарата непрерывного доения.

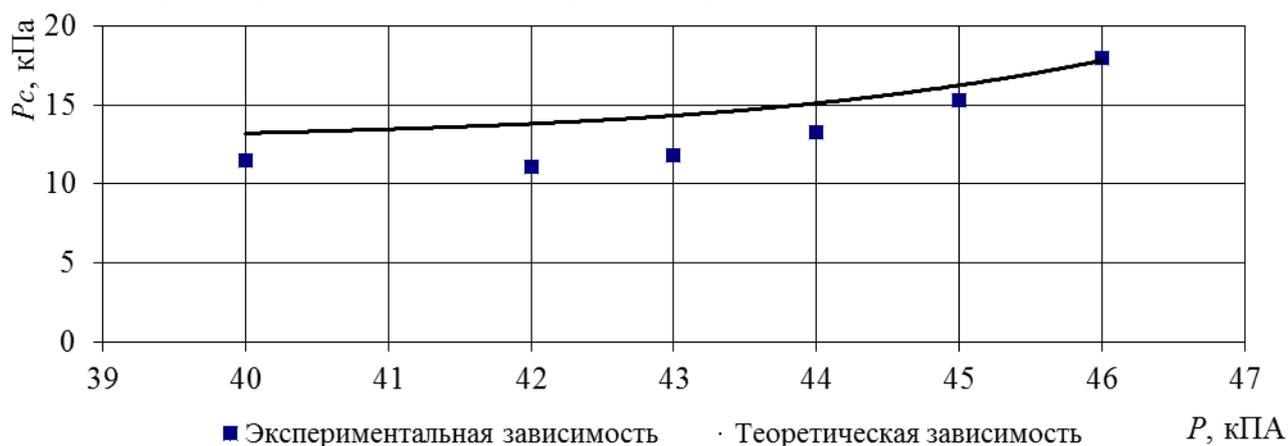


Рисунок 17 - Сравнительные графические зависимости величины давления сосковой резины на сосок от вакуумметрического давления

В пятой главе «Производственные испытания и экономическая эффективность использования доильного аппарата непрерывного доения» представлены программа, методика исследований, а также результаты производственных опытов и оценка экономической эффективности использования предлагаемого аппарата. Производственные испытания разработанного доильного аппарата

непрерывного доения проводили на молочной ферме СХА “Эртильская” Эртильского района Воронежской области на коровах красно-пестрой породы при привязном их содержании (табл. 1). На рисунке 18 представлен фрагмент производственной установки, включающей доильный аппарат непрерывного доения.

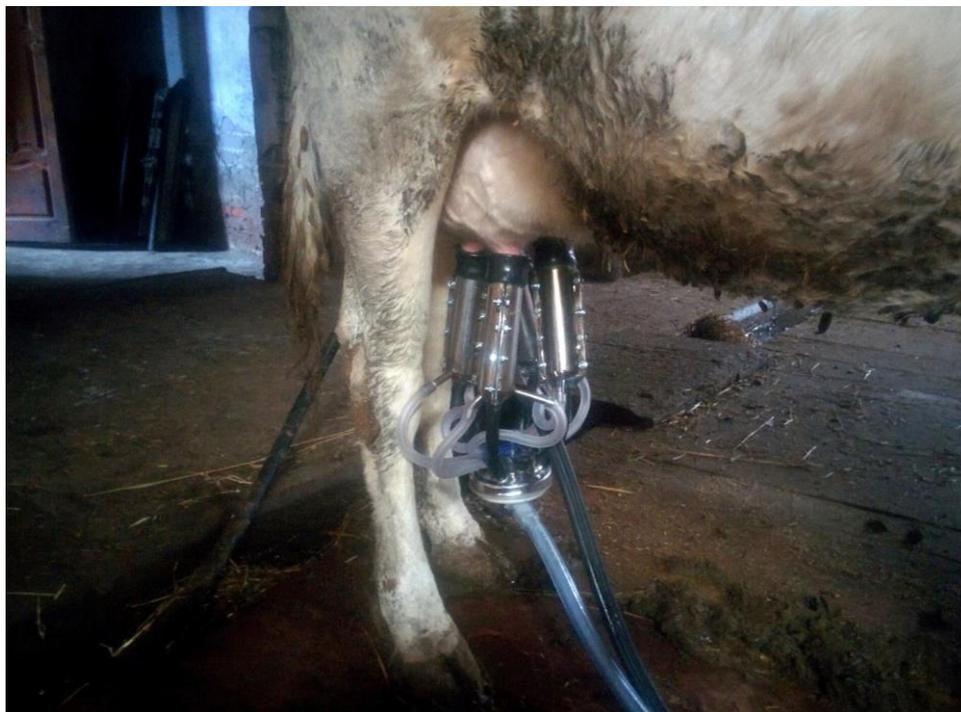


Рисунок 18 - Фрагмент производственной установки, включающей доильный аппарат непрерывного доения

Результаты производственных испытаний предлагаемой технологии с использованием доильных аппаратов непрерывного доения не выявили случаев заболевания маститом, а типовой – два случая.

Проведенная оценка экономической эффективности показывает, что применение усовершенствованной технологии доения коров, с использованием доильных аппаратов непрерывного доения, позволяет получить годовой экономический эффект в размере 889 878 руб. из расчета на 200 коров. Срок окупаемости составляет 0,69 года.

Таблица 1 - Результаты производственных опытов

Показатели	Типовая технология доения	Технология доения с АНД	Разница, %
Продолжительность подготовительного периода, дней	5	5	-
Количество животных, голов	12	12	-
Средний разовый удой, кг	6,34	6,90	+8,80
Средняя продолжительность доения, мин	5,90	5,95	+0,80
Средняя интенсивность молоковыведения, кг/мин	1,07	1,16	+8,50
Ручной додой, кг	0,22	0,15	-45,0
Полнота выдаивания, %	96,50	97,82	

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Подтверждено, что производительность доильного аппарата зависит от коэффициента тактности, который для двухтактных доильных аппаратов составляет 0,5...0,7, поэтому для повышения эффективности машинного доения коров перспективно создание аппарата непрерывного доения ($k_T=1$), обеспечивающего необходимую стимуляцию молокоотдачи.

2. Доильный аппарат непрерывного доения должен содержать пульсатор попарного доения, коллектор с молочной и распределительной камерами и доильные стаканы, молочные и воздушные трубки. Доильные стаканы включают сосковую трубку и гильзу с молочными и воздушными патрубками. В гильзе каждого доильного стакана выполнены диаметрально расположенные выступы с трапецеидальными проточками, что позволяет разделить межстенные камеры стакана на две изолированные друг от друга части, в каждой из которых имеется воздушный патрубок. Сосковые трубки имеют диаметрально расположенные продольные ребра, установленные в проточках продольных выступов гильзы стакана.

3. Теоретически доказано, что вакуумметрическое давление, необходимое для работы предлагаемого доильного аппарата, зависит от его конструктивных параметров: ширины, глубины ребра и внешнего радиуса сосковой трубки, расстояния между сосковой трубкой и стенкой доильного стакана, а также от модуля упругости резинового крепления. Теоретически установлено, что давление сосковой резины на сосок зависит от ее конструктивных параметров: длины и толщины в рабочем положении, ее внутреннего и внешнего радиуса и натяжения в доильном стакане, а также физико-механических свойств материалов: коэффициентов объемной упругости соска вымени коровы и сосковой резины, и при вакуумметрическом давлении $p_v=40-42$ кПа оно соответствует зоотехническим требованиям (10-15 кПа). Теоретически доказано, что скорость выведения молока на выходе из соска зависит от давления молока в цистерне железы, вакуумметрического давления в подсосковой камере и давления, возникающего в результате одностороннего сжатия соска, а также от геометрических размеров соска вымени коровы.

4. Экспериментами подтверждена достоверность теоретических положений по определению конструктивно-режимных параметров доильного аппарата, необходимых для его нормальной работы. При обработке результатов многофакторного эксперимента получено уравнение регрессии для определения давления сосковой резины на сосок в зависимости от конструктивно-режимных параметров аппарата. Посредством обработки данных установлены следующие рациональные конструктивно-режимные параметры доильного аппарата непрерывного доения: расстояние между сосковой трубкой и стенкой доильного стакана 0,003 м, ширина резинового крепления сосковой трубки - 0,003 м, вакуумметрическое давление – 40-42 кПа. В результате проведения многофакторного эксперимента получено уравнение регрессии для определения производительности доильного аппарата в зависимости от его режимных параметров. Посредством обработки данных установлены следующие рациональные режимные параметры доильного аппарата непрерывного доения: вакуумметрическое давление – 40 кПа, частота пульсаций вакуума 1,5 Гц, соотношение тактов сосания и сжатия – 70/30.

5. Результаты производственных испытаний свидетельствуют о том, что разработанный доильный аппарат во время работы обеспечивает устойчивое выведение молока у коровы, позволяя за счет непрерывного отсоса молока обеспечить необходимую производительность и безопасность доения. Применение разработанного доильного аппарата повышает разовый удой и интенсивность доения соответственно на 8,8 и 8,5 %. Расчетный годовой экономический эффект за счет внедрения доильного аппарата на молочной ферме с поголовьем 200 коров составит 889 878 руб. при сроке окупаемости 0,69 года.

Список работ, опубликованных автором по теме диссертации Статьи в ведущих рецензируемых научных изданиях

1. Стимулирующий доильный аппарат непрерывного доения / Д.И. Яловой, Е.А. Андрианов, А.М. Андрианов, А.А. Андрианов // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 2015. – № 9. – С. 4-6.
2. Обоснование давления сосковой резины на сосок вымени стимулирующего аппарата непрерывного доения / Д.И. Яловой, Е.А. Андрианов, В.П. Шацкий, А.А. Андрианов // Техника и оборудование для села. – 2015. – № 9 (219). – С. 32-36.
3. Обоснование процесса выведения молока из вымени коровы стимулирующим аппаратом непрерывного доения / Д.И. Яловой, Е.А. Андрианов, В.П. Шацкий, А.А. Андрианов // Техника и оборудование для села. – 2016. – № 2. – С. 32-34.
4. Определение рациональных параметров доильного аппарата непрерывного доения / Д.И. Яловой, Е.А. Андрианов, А.А. Андрианов, Т.Н. Тертычная // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. – Воронеж: Воронеж. гос. аграр. ун-т, – 2016. – № 4(51). – С. 93-99.

Патенты

5. Патент на изобретение № 2556910 РФ, МПК А01J 5/04. Устройство для доения коров / Е.А. Андрианов, А.М. Андрианов, А.А. Андрианов, Д.И. Яловой; заявитель и патентообладатель Воронеж. гос. аграр. ун-т. – № 2013147003/13; заявл. 21.10.2013; опубл. 27.04.2015.
6. Патент на полезную модель № 167709 РФ, МПК А01J 7/00 (2006.01). Устройство для измерения давления сосковой резины на сосок / Е.А. Андрианов, А.А. Андрианов, В.И. Руденко, Д.И. Яловой; заявитель и патентообладатель Воронеж. гос. аграр. ун-т. – № 2016127747; заявл. 08.07.2016; опубл. 10.01.2017.

Статьи в материалах международных конференций

7. Яловой Д.И. Совершенствование устройств для машинного доения коров / Д.И. Яловой // Инновационные технологии и технические средства для АПК : Матер. межд. науч.-практ. конф. молодых ученых и специалистов. – Воронеж. гос. аграр. ун-т. – 2014. – С. 95-100.
8. Яловой Д.И. Совершенствование устройств непрерывного доения / Д.И. Яловой // Научно-практические аспекты ресурсосберегающих технологий производства продукции и переработки отходов АПК: Матер. межд. науч.-практ. конф. – Воронеж. гос. аграр. ун-т. – 2014. – С. 76-80.
9. Яловой Д.И. Совершенствование технологий и технических средств для машинного доения коров / Д.И. Яловой // Проблемы и перспективы инновационного развития агроинженерии, энергоэффективности и it-технологий:

Матер. XVIII межд. науч.-производ. конф. – Белгород: Белгород. гос. сельск. ак-я, 2014. – С. 142.

10. Яловой Д.И. К обоснованию давления сосковой резины на сосок стимулирующе-адаптивного аппарата / Д.И. Яловой // Агропромышленный комплекс на рубеже веков: Матер. межд. науч.-практ. конф. – Ч.1. – Воронеж: Воронеж. гос. аграр. ун-т, 2015. – С. 205-211.

11. Яловой Д.И. К обоснованию основных параметров доильного стакана аппарата непрерывного доения / Д.И. Яловой // Инновационные направления развития технологий и технических средств механизации сельского хозяйства: Матер. межд. науч.-практ. конф. – Ч.2. – Воронеж: Воронеж. гос. аграр. ун-т, 2016. – С. 24-30.

12. Яловой Д.И. К обоснованию скорости молоковыведения доильным аппаратом непрерывного доения / Д.И. Яловой // Наука и образование в современных условиях: Матер. межд. науч.-практ. конф. – Воронеж: Воронеж. гос. аграр. ун-т, 2016. – С. 190-195.

13. К обоснованию методики определения геометрических параметров доильного стакана аппарата непрерывного доения / Д.И. Яловой, Е.А. Андрианов, А.А. Андрианов, В.И. Руденко // Современные тенденции развития технологий и технических средств в сельском хозяйстве: Матер. межд. науч.-практ. конф. – Воронеж: Воронеж. гос. аграр. ун-т, 2017. – С. 146-150.

Статьи в других изданиях

14. Исследование устройств для машинного доения коров / Д.И. Яловой, Е.А. Андрианов, А.М. Андрианов, А.А. Андрианов // Современные тенденции развития технологий и технических средств для АПК: Матер. науч.-практ. конф. – Воронеж: Воронеж. гос. аграр. ун-т. – 2014. – С. 89-94.

15. Яловой Д.И. К обоснованию давления сосковой резины на сосок стимулирующе-адаптивного аппарата / Е.А. Андрианов, Д.И. Яловой // Инновационные технологии и технические средства для агропромышленного комплекса: Матер. науч.-практ. конф. – Воронеж: Воронеж. гос. аграр. ун-т, 2015. – С. 46-49.

Просим принять участие в работе диссертационного совета Д 220.010.04 или выслать Ваш отзыв на автореферат в двух экземплярах с заверенными подписями по адресу: 394087, г. Воронеж, ул. Тимирязева, д. 13, ученому секретарю. Телефон (473) 224-39-39; e-mail: et@agroeng.vsau.ru.