

На правах рукописи



ПАНФЕРОВ НИКОЛАЙ СЕРГЕЕВИЧ

**ДОИЛЬНЫЙ АППАРАТ С ВЕРХНИМ ОТВОДОМ МОЛОКА ИЗ
КОЛЛЕКТОРА**

Специальность: 05.20.01 - Технологии и средства механизации
сельского хозяйства

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Рязань - 2017

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева» (ФГБОУ ВО РГАТУ)

Научный руководитель: доктор технических наук, профессор
Ульянов Вячеслав Михайлович

Официальные оппоненты: **Шахов Владимир Александрович,**
доктор технических наук, профессор ФГБОУ ВО
«Оренбургский государственный аграрный
университет», начальник управления по организации
научных исследований и подготовке научных кадров

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

Ведущая организация: федеральное государственное бюджетное научное
учреждение Всероссийский научно-исследовательский
институт механизации животноводства (ФГБНУ
ВНИИМЖ).

Защита диссертации состоится 28 ноября 2017 года в 10:00 часов на заседании диссертационного совета Д 220.057.03 в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева» по адресу 390044, Рязанская область, г. Рязань, ул. Костычева, д.1, зал заседаний диссертационных советов.

С диссертацией и авторефератом можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВО «Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева», на сайте ФГБОУ ВО РГАТУ: www.rgatu.ru, с авторефератом - на сайте Высшей аттестационной комиссии Министерства образования и науки Российской Федерации www.vak3.ed.gov.ru.

Автореферат разослан «___» _____ 2017 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета
доктор технических наук, доцент



А.В. Шемякин

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. В настоящее время в Российской Федерации в условиях решения проблем импортозамещения и продовольственной безопасности страны активно развивается молочное животноводство. Эта отрасль требует значительных материальных затрат. Одним из трудоемких процессов на большинстве молочных ферм остается доение.

В последнее время благодаря улучшению пород крупного рогатого скота и условий их содержания, а также сбалансированности рационов питания, наблюдается рост продуктивности коров, которая достигает семи - восьми тонн молока в год на одну корову. Однако оборудование и в первую очередь доильные аппараты, используемые на многих фермах, устарели и зачастую не справляются с такой продуктивностью коров. В связи с чем разработка доильного аппарата с высокой пропускной способностью актуальна.

Степень разработанности темы. Анализ работ Аверкаева А.А., Админа Е.Н., Андрианова Е.А., Бунина И.А., Вальдмана Э.А., Васина Б.И., Городецкой Т.К., Каранаева Ю.С., Карташова А.П., Келписа Э.А., Кокорина Э.П., Королева В.Ф., Краснова И.Н., Кузьмина А.Е., Курочкина А.А., Мельникова С.В., Огородникова П.И., Петухова Н.А., Проничева Н.П., Соловьева С.А., Ужик В.Ф., Ужик О.В., Ульянова В.М., Утолина В.В., Хрипина В.А., Цоя Ю.А., Чехунов О.А., Шахова В.А., Щукина С.И. и других ученых показал, что вопрос совершенствования доильных аппаратов, их взаимодействия с организмом животных требует дальнейшего изучения.

Исследование литературных и патентных источников выявило, что многие технические средства доения не соответствуют физиологическим потребностям животного и вызывают при доении ряд негативных явлений, таких как: низкая отсасывающая способность, ведущая к увеличению времени доения и неполному выдаиванию животных; обратный отток молока («мокрое» доение); значительные колебания уровня вакуума под сосками вымени коровы, что ведет к заболеваниям вымени; «схлопывание» сосковой резины, ведущее к напозданию доильных стаканов на соски вымени коровы.

Исключить большинство недостатков можно путем разработки доильного аппарата с высокой пропускной способностью при стабильном вакуумном режиме под сосками вымени, что повысит эффективность машинного доения коров.

Исследования проводились в соответствии с планом НИОКР ФГБОУ ВО РГАТУ по теме «Совершенствование энергосберегающих технологий и средств механизации в отраслях животноводства» (№ гос. рег. 01201174434) 2011...2015 гг., в рамках раздела «Разработка физиологически адаптированных доильных аппаратов и технических средств контроля и учета молока».

Цель исследований - обоснование конструкции и параметров доильного аппарата с верхним отводом молока из коллектора, обеспечивающего повышение пропускной способности и стабилизацию вакуума под сосками вымени коровы.

Объект исследований. Доильный аппарат с верхним отводом молока из коллектора.

Предмет исследований. Рабочий процесс доильного аппарата с верхним отводом молока из коллектора.

Научная новизна:

- конструктивно-технологическая схема доильного аппарата с верхним отводом молока из коллектора;
- теоретические положения по обоснованию конструктивно-режимных параметров доильного аппарата с верхним отводом молока из коллектора;
- результаты экспериментальных исследований доильного аппарата с верхним отводом молока из коллектора;

Техническая новизна доильного аппарата подтверждена патентом на изобретение РФ RU № 2565276.

Теоретическая и практическая значимость работы. Разработан доильный аппарат с верхним отводом молока из коллектора. Получены теоретические зависимости по обоснованию его конструктивно-режимных параметров, которые подтверждены экспериментально.

Результаты теоретических и экспериментальных исследований имеют практическую значимость для конструкторских, проектных организаций и сельскохозяйственных предприятий, занимающихся машинным доением.

Методология и методы исследования. При проведении теоретических исследований были использованы известные законы физики, теоретической механики, гидравлики и математики. Теоретические исследования проводились с целью получения аналитических зависимостей, которые позволили установить конструктивно-режимные параметры работы доильного аппарата с верхним отводом молока из коллектора. 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, установок и приборов, а также специально разработанных и изготовленных. Обработка экспериментальных данных в исследованиях осуществлялась методами математической статистики с использованием ПК и современных компьютерных программ: «STATISTICA», «Mathematica», «Mathcad», «Microsoft Excell».

Положения, выносимые на защиту:

- конструктивно-технологическая схема доильного аппарата с верхним отводом молока из коллектора;
- аналитические зависимости, обосновывающие параметры и режимы работы доильного с верхним отводом молока из коллектора;
- результаты лабораторных исследований по обоснованию и рационализации конструктивно-технологических параметров доильного аппарата с верхним отводом молока из коллектора;
- результаты проверки разработанного доильного аппарата с верхним отводом молока из коллектора в экспериментальных условиях.
- результаты расчета экономического эффекта применения доильного аппарата с верхним отводом молока из коллектора.

Вклад автора заключается в постановке задач исследований, в обосновании параметров доильного аппарата с верхним отводом молока из коллектора, проведении теоретических и экспериментальных исследований, обработке и интерпретации полученных результатов, написании научных статей и оформлении патентных заявок.

Степень достоверности и апробация результатов. Достоверность научных положений подтверждена достаточной сходимостью результатов теоретических и экспериментальных исследований, применений современных методик и средств обработки результатов экспериментов, результатами внедрения в производство и учебный процесс.

Основные положения диссертационной работы доложены и обсуждены на научно-практических конференциях ФГБОУ ВО РГАТУ (г. Рязань, 2013-2017 г.), на IX международной научно-практической конференции «Аграрная наука – сельскому хозяйству» ФГБОУ ВПО АГАУ (г. Барнаул, 2014 г.), на международной научно-практической конференции, посвященной Дню российской науки «Образование, наука, практика: инновационный аспект» ФГБОУ ВПО ПГСХА (г. Пенза, 2015 г.), на XIX Международной научно-производственной конференции ФГБОУ ВО Белгородский ГАУ, (г. Белгород, 2015), Международной научно-технической конференции молодых ученых и специалистов «Инновации в сельском хозяйстве» (г. Москва 2016 г., РФ, ФГБНУ ФНАЦ ВИМ), на Международной научно-практической конференции "Научно-технический прогресс в АПК: проблемы и перспективы " (г. Ставрополь, 2016 г), в работе круглых столов Академии ФСИН России, (г. Рязань 2016-2017 гг.)

Публикации результатов исследований. По результатам диссертационной работы опубликовано 13 научных работ, в том числе 4 в изданиях, рекомендованных ВАК Минобрнауки РФ и патенте РФ на изобретение. Общий объем публикаций составляет 3,94 печ.л., из которых 2,54 печ.л. принадлежит лично автору.

Структура и объем диссертационной работы. Диссертационная работа включает введение, четыре главы, заключение, список используемых источников из 122 наименований и приложения. Общий объем работы составляет 141 страницу, содержит 62 рисунка, 5 таблиц, 17 приложений.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

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

В первой главе «Анализ способов, средств и существующих технологий машинного доения коров» описана технология и основные принципы доения коров, дан обзор существующих конструкций доильных аппаратов и выявлены их недостатки. Анализ научных работ ученых, занимающихся данным вопросом показал, что перспективными являются доильные аппараты с верхним отводом молока из коллектора, повышающие пропускную способность при стабильном вакууме под сосками вымени коровы при доении.

В связи с этим сформулированы **задачи исследований:**

1. провести анализ существующих конструкций доильных аппаратов, выявить направление совершенствования, обеспечивающее увеличение их пропускной способности и разработать конструктивно-технологическую схему доильного аппарата с верхним отводом молока из коллектора;

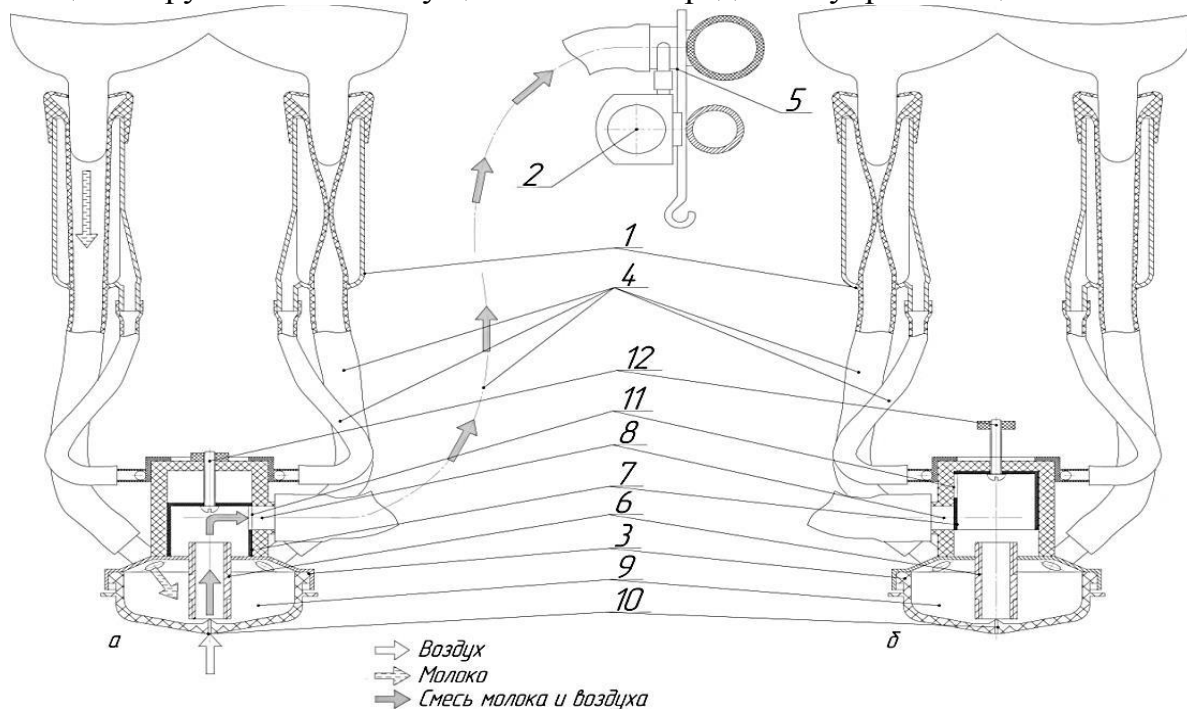
2. теоретически обосновать параметры доильного аппарата с верхним отводом молока из коллектора;

3. экспериментально обосновать и выявить рациональные параметры работы доильного аппарата с верхним отводом молока из коллектора;

4. произвести проверку разработанного доильного аппарата с верхним отводом молока из коллектора в условиях производства, определить экономический эффект от его применения, выполнить заключение.

Во второй главе «Теоретические предпосылки к обоснованию параметров и режимов работы доильного аппарата с верхним отводом молока из коллектора» предложена конструктивно-технологическая схема доильного аппарата с верхним отводом молока из коллектора. Приведены аналитические зависимости, характеризующие процесс выведения молока из соска вымени коровы доильным аппаратом вакуумного действия, теоретически определены подача и диаметр отверстия для впуска воздуха в коллектор, обоснованы диаметр отсасывающей трубки и высота ее установки относительно дна молокоборной камеры коллектора.

Конструктивно-технологическая схема (рис. 1) разрабатываемого доильного аппарата имеет стандартную компоновку и состоит из доильных стаканов 1, пульсатора 2, коллектора 3, молочных и вакуумных шлангов 4 и ручки переходника 5. Оригинальным является коллектор, в корпусе которого расположены центральная отсасывающая трубка 6, трубка-клапан 7, выходной молочный патрубок 8 молокоборной камеры 9, в днище последней по оси отсасывающей трубки выполнено отверстие 10 впуска воздуха в коллектор. Трубка-клапан 7 снабжена радиальным отверстием 11 равным по диаметру выходному молочному патрубку 8, и выполнена с возможностью осевого перемещения по корпусу коллектора 3. Перемещение трубки клапана осуществляется посредством управляющего штока 12.



а - рабочее положение, б - нерабочее положение

Рисунок 1 – Конструктивно-технологическая схема доильного аппарата с верхним отводом молока из коллектора (позиции указаны в тексте)

Доильный аппарат работает следующим образом. После его подключения к молочно-вакуумному крану доильной установки посредством ручки переходника 5 и подсоединения молокоборной камеры 9 коллектора 3 к молокопроводу, нажиманием на управляющий шток 12, что обеспечивает совмещение отверстий 11 и 8. Оператор надевает доильные стаканы 1 на соски вымени коровы и начинается процесс доения. При работе пульсатор 2 попарного действия подает в камеры распределителя вакуум и атмосферное давление. Молоко от доильных стаканов 1 поступает в молокоборную камеру 9 коллектора 3, одновременно с молоком всасывается воздух, через отверстие 10 и в зоне нижнего конца отсасывающей трубки 6, происходит смешивание. Далее молоковоздушная смесь через отсасывающую трубку 7, радиальное выходное отверстие 11 и патрубок 8 поступает через молочный шланг 4 в молокопровод. Чтобы отключить коллектор 3 от разрежения, необходимо потянуть за управляющий шток 12 в крайнее верхнее положение, что приведет к поднятию трубки – клапана 7 и перекрытию отверстия выходного молочного патрубка 8.

Отвод молока через отсасывающую трубку интенсифицирует его вывод из коллектора за счет действия дополнительных подъемных сил, таких как сила неоднородности плотностей и выталкивающая сила, действующая на шарики воздуха, растворенные в молоке. Сила неоднородности плотностей возникает из разности плотностей молока, поступающего в коллектор и молоковоздушной смеси в коллекторе под отсасывающей трубкой.

При проектировании доильного аппарата следует учитывать, что с выменем коровы во время доения непосредственно контактирует его подвесная часть, включающая в себя коллектор и доильные стаканы, поэтому следует знать особенности процесса молоковыведения из соска вымени коровы.

Процесс молоковыведения вакуумным доильным аппаратом схож с неустановившимся движением жидкости. Для определения начальной скорости

потока молока из соска составим уравнение Бернулли для неустановившегося движения жидкости (рис. 2).

Сечение 1-1 проходит по началу полости соска, сечение 2-2 проходит по началу выходного канала соска вымени животного, а сечение 3-3 по обрезу конца соска. Для выбранных сечений имеем

$$\frac{v_1^2}{2g} + \frac{p_1}{\rho_m g} + H_0 = \frac{v^2}{2g} + \frac{p_3}{\rho_m g} + \int_h \frac{\partial v}{\partial t} dh + h_\xi \quad (1)$$

где v_1, v – средние скорости молока в

сечениях 1-1 и 3-3, м/с; p_1, p_3 – давление молока в сечениях 1-1 и 3-3, Па; H_0 – высота молочного столба между сечениями, м; ρ_m – плотность молока кг/м³; $\frac{\partial v}{\partial t}$ – частная производная изменения скорости молока, м/с²; dh – изменение высоты перемещаемого молока, м; h_ξ – потери напора при движении молока по соску.

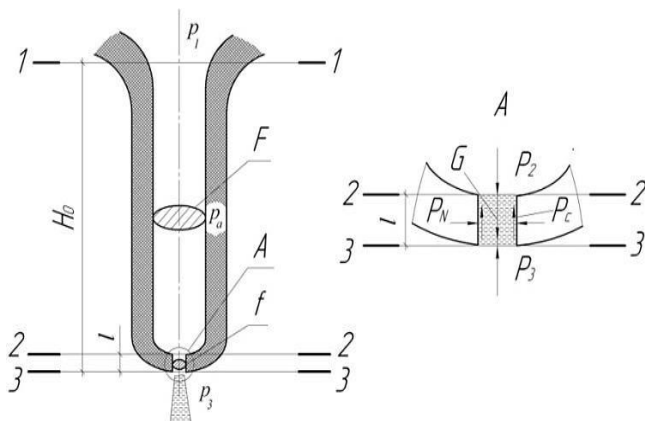


Рисунок 2 - Схема для расчета начальной скорости потока молока

После преобразований получаем решение уравнения:

$$v = \sqrt{\frac{2F^2}{\rho_m(F^2 - f^2)} \left((p_m + p_\epsilon + \rho_m g H_0) - \frac{p_\epsilon f (p_m + \rho_m g l)}{p_m A_n l} \right)} \quad (2)$$

где v – скорость выведения молока из соска вымени, м/с; l , A_n – соответственно длина и периметр молоковыводящего канала соска, м; f , F – соответственно площадь молоковыводящего канала и сечения соска вымени, м²; p_m – цистернальное давление молока, Па; p_ϵ – величина вакуума, Па; p_m – тонус соска, Па.

Из формулы (2) следует, что скорость молоковыведения зависит от: давления в цистерне молочной железы; вакуума в подсосковой камере доильного стакана; тонуса сфинктера соска; от геометрических размеров соска вымени коровы.

Общая подача молока в коллектор от доильных стаканов в единицу времени будет равна:

$$Q_m = 4 \cdot v \cdot f = 4 \cdot f \cdot \sqrt{\frac{2(Ff)^2}{\rho(F^2 - f^2)} \left((p_m + p_\epsilon + \rho_m g H_0) - \frac{p_\epsilon f (p_m + \rho_m g l)}{p_m A_n l} \right)} \quad (3)$$

где Q_m – объемная подача молока от сосков вымени, м³/с;

Коллектор в данном доильном аппарате предназначен не только для сбора молока, но и выступает в роли смесителя воздуха с молоком, что определяет структуру течения молоковоздушной смеси и влияет на пропускную способность доильного аппарата. Количество воздуха, поступающего в коллектор, зависит от диаметра отверстия, через которое он поступает.

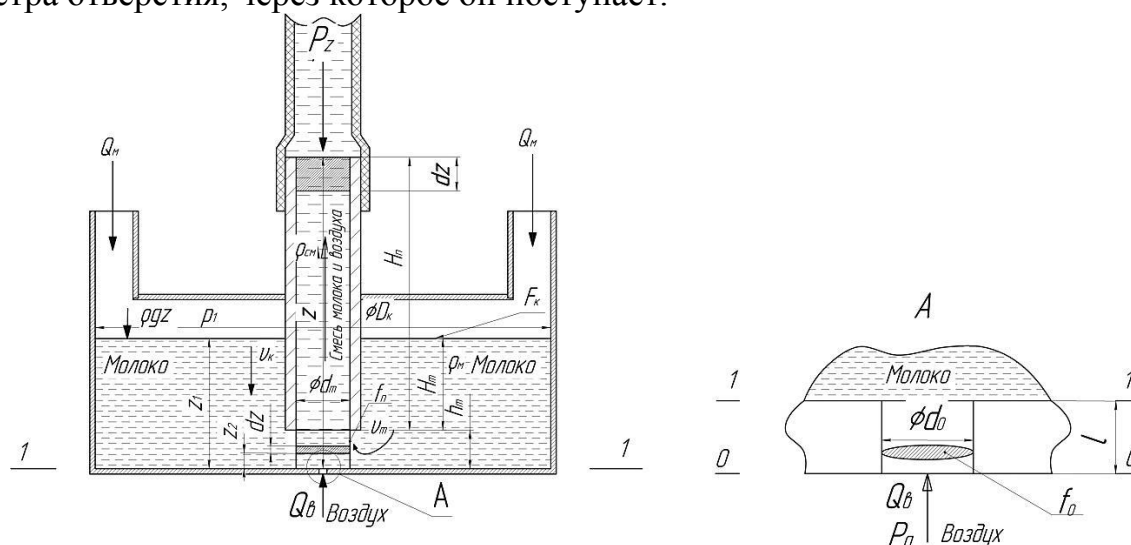


Рисунок 3 - Схема для определения диаметра отсасывающей трубки, отверстия для впуска воздуха в коллектор и высоты установки отсасывающей трубки относительно дна молокосборной камеры коллектора.

Рассмотрим движение потока воздуха через отверстие в дне коллектора (рис 3). Принимаем, что в коллекторе установившееся движение молока. Воздух, поступающий в коллектор, смешиваясь с молоком отводится через отсасывающую трубку, установленную с зазором от дна коллектора. Силу трения, действующую на стенках сечения, заменим на основании уравнения Дарси - Вейсбаха.

Запишем уравнение количества движения:

$$\rho_{\text{с}} \cdot Q_{\text{с}} \cdot v_{\text{с}0} - \rho_{\text{с}} \cdot Q_{\text{с}} \cdot v_{\text{с}} = p_{\text{а}} \cdot f_0 - f_0 \cdot l \cdot \rho_{\text{с}} \cdot g - \lambda \cdot \frac{l}{d_0} \cdot \frac{v_{\text{с}}^2}{2} \cdot \rho_{\text{с}} \cdot f_0 - (p + \rho_{\text{см}} \cdot g \cdot z) \cdot f_0 \quad (4)$$

где p – абсолютное давление среды в коллекторе, Па; z – высота столба молоковоздушной смеси над отверстием, м; $\rho_{\text{см}}$ – плотность смеси воздуха и молока, кг/м³; g – ускорение свободного падения, м/с²; f_0 – площадь сечения отверстия для впуска воздуха в коллектор, м²; $v_{\text{с}0}$ – начальная скорость воздуха, м/с; l – длина сечения равная толщине стенки корпуса коллектора, м; $\rho_{\text{в}}$ – плотность воздуха, кг/м³; λ – коэффициент гидравлического трения; d_0 – диаметр отверстия для впуска воздуха в коллектор, м; $v_{\text{в}}$ – скорость поступления воздуха, м/с.

Учитывая, что воздух поступает из атмосферы, то его скорость на входе можно принять $v_0 = 0$. Принимая во внимание, что толщина стенки коллектора, в которой выполнено отверстие, мала, как и диаметр отверстия для впуска воздуха, то можно принять $\frac{l}{d} \approx 1$. Весом воздуха в изолированном сечении пренебрегаем, а также учетом того, что $Q_{\text{в}} = v_{\text{в}} \cdot f_0$ скорость:

$$v_{\text{с}} = \sqrt{\frac{(p_{\text{с}} - \rho_{\text{см}} g \cdot z)}{\rho_{\text{с}} (1 + 0,5\lambda)}} \quad (5)$$

Для стабильной работы коллектора при доении требуется определенное соотношение между молоком и поступающим воздухом. Данное соотношение оценивается коэффициентом k . Он показывает долю воздуха по отношению к молоку в смеси и называется коэффициентом абсолютного воздушного фактора.

Учитывая, что $Q_{\text{см}} = Q_{\text{м}} + Q_{\text{с}}$, а $k = \frac{Q_{\text{в}}}{Q_{\text{м}}}$, то $Q_{\text{см}} = Q_{\text{м}} \cdot (k + 1)$ (6)

где $Q_{\text{см}}$, $Q_{\text{м}}$, $Q_{\text{с}}$ – соответственно подача молоковоздушной смеси, молока и воздуха в коллектор, м³/с

От величины коэффициента k зависит структура течения смеси молока и воздуха по молочному шлангу. При изменении структуры течения изменяются параметры разряжения, подачи смеси, массового воздухосодержания, а также скорость эвакуации молока и воздействие на вымя коровы.

Диаметр отверстия для впуска воздуха в коллектор d_0 , которое обеспечивает требуемое для стабильной работы доильного аппарата значение коэффициента абсолютного воздушного фактора.

Подставляя в (6) значение $Q_{\text{в}} = v_{\text{в}} \cdot f_0$ и значение $v_{\text{в}}$ из формулы (5), а также учитывая, что $f_0 = \frac{\pi \cdot d_0^2}{4}$, определяем диаметр отверстия d_0 , м:

$$d_0 = \sqrt{\frac{4k \cdot Q_{\text{м}}}{\pi \cdot \sqrt{\frac{(p_{\text{с}} - \rho_{\text{см}} g z)}{\rho_{\text{с}} (1 + 0,5\lambda)}}}} \quad (7)$$

По выражению (7) находят диаметр отверстия для впуска воздуха в коллектор, при требуемых значениях k и $Q_{\text{м}}$. Значение коэффициента гидравлического трения λ определяется экспериментально.

Наряду с количеством воздуха, поступающего в коллектор, на пропускную способность доильного аппарата влияет диаметр отсасывающей трубки.

Запишем уравнение Бернулли в дифференциальной форме для участка dz (рис. 3) в отсасывающей трубке:

$$dz + \frac{dp}{\rho_{см} \cdot g} + \frac{dv_{см}^2}{2 \cdot g} + dh_n = 0 \quad (8)$$

где dp – давление в элементарном участке, Па; $v_{см}$ – скорость смеси, м/с; h_n – потери напора при перемещении смеси молока и воздуха по отсасывающей трубке, м.

Принимаем, что гидравлические потери при движении молоковоздушной смеси по отсасывающей трубке несущественные и ими можно пренебречь, и учитывая, что молокосорборная камера коллектора и отсасывающая трубка являются системой с сообщающимися сосудами получим:

$$p_h + \rho_m g h = p_z + \rho_{см} g z \quad (9)$$

где z – длина отсасывающей трубки, м; h – высота уровня молока в молокосорборной камере коллектора, м; p_h, p_z – давления, действующие соответственно на зеркало молока в молокосорборной камере на уровне h и молоковоздушную смесь в отсасывающей трубке на уровне z , Па.

После преобразований, получим:

$$d_m = \sqrt[3]{\frac{8 \cdot \lambda \cdot \rho_m \cdot Q_m^2 \cdot (1+k) \cdot z}{\pi^2 \cdot D_k^2 \cdot [(p_1 - p_2) - \rho_{см} \cdot g \cdot z]}} \quad (10)$$

Формула (10) включает в себя основные конструктивные параметры коллектора доильного аппарата с верхним отводом молока: диаметр молокосорборной камеры, диаметр и длину отсасывающей трубки, технологические ($p_1 - p_2$). Она используется для определения диаметра отсасывающей трубки при требуемых параметрах k и Q_m , а также для нахождения других конструктивных параметров.

При проектировании доильного аппарата следует учитывать, чтобы в конце доения в коллекторе не оставалось молока, и не возникало дополнительного сопротивления при входе молока в отсасывающую трубку. Поэтому важна высота установки отсасывающей трубки относительно дна коллектора.

Выберем горизонтальную плоскость отсчета 1–1 по плоскости дна коллектора (рис. 3) и запишем уравнение Бернулли для сечений, совпадающих со свободной поверхностью молока на расстоянии z_1 над плоскостью отсчета и середины глубины отверстия на расстоянии z_2 .

$$z_1 + \frac{p_1}{\rho g} + \frac{v_k^2}{2g} = z_2 + \frac{p_2}{\rho g} + \frac{v_m^2}{2g} + h_n \quad (11)$$

где z_1 – высота уровня молока в коллекторе, м. v_k, v_m – скорости молока в коллекторе и на входе в отсасывающую трубку соответственно, м/с.

Преобразуем выражение (11), обозначим разность $p_1 - p_2 = \Delta p$ получим:

$$h_m = \sqrt[3]{\left(\frac{3 \cdot Q_m}{2 \cdot (\sqrt{2 \cdot g \cdot \varphi \cdot \pi \cdot d_m}) \cdot k_2} + \sqrt{\left(\frac{\rho_{см}}{\rho_m} \cdot H_{п} + \frac{\Delta p}{\rho_m g} \right)^3} \right)^2 - \left(\frac{\rho_{см}}{\rho_m} \cdot H_{п} + \frac{\Delta p}{\rho_m g} \right)} \quad (12)$$

где φ – коэффициент скорости; k_2 – коэффициент подачи; $H_{п}$ – высота подъема жидкости в трубке от силы неоднородности плотностей, м.

Выражение (12) можно использовать для определения высоты установки отсасывающей трубки относительно дна молокосборной камеры коллектора.

В третьей главе «Экспериментальные исследования доильного аппарата с верхним отводом молока из коллектора» изложены программа и методики исследований, приведены описание лабораторной установки и результаты исследований. Обработка опытных данных экспериментов проводилась с помощью программ «Microsoft Excel», «Mathematica», «Mathcad» и «Statistica». Исследования проводились в лаборатории доильного оборудования кафедры технических систем в АПК ФГБОУ ВО РГАТУ. Лабораторная установка представлена на рисунке 4.

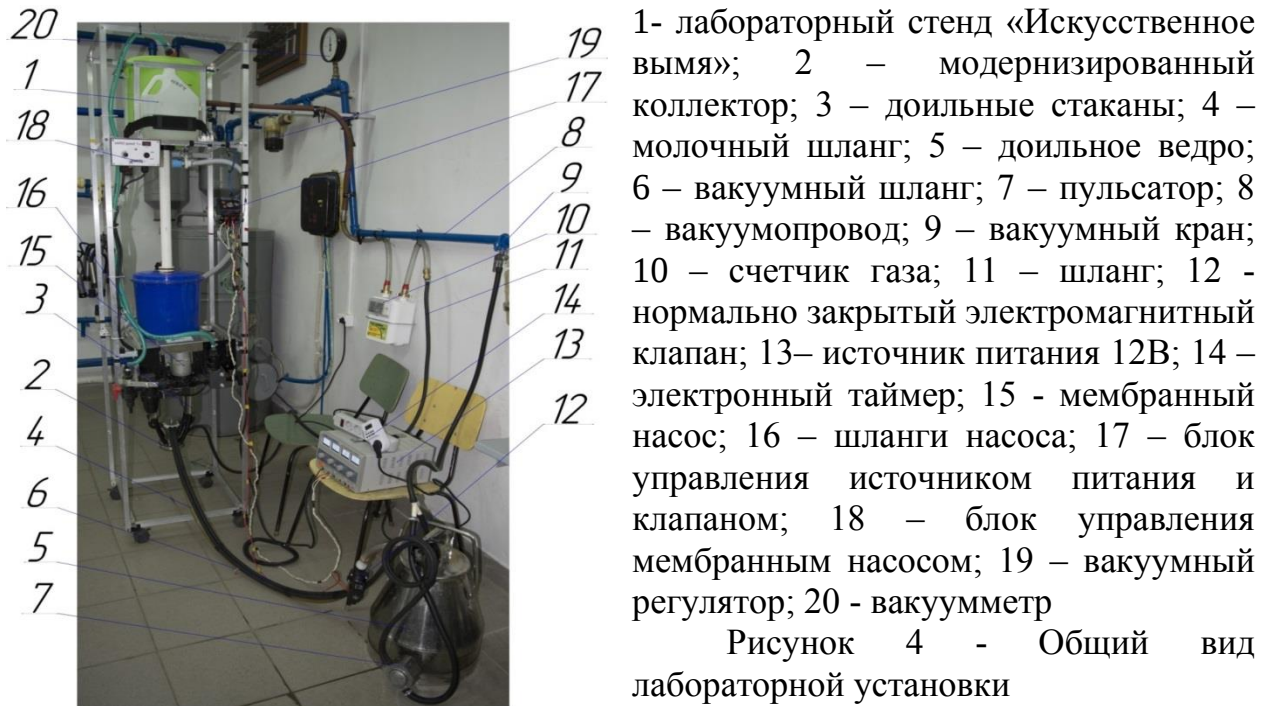


Рисунок 4 - Общий вид лабораторной установки

В результате лабораторных исследований по обоснованию параметров доильного аппарата с верхним отводом молока из коллектора получен ряд графических зависимостей.

По результатам исследований влияния высоты установки отсасывающей трубки относительно дна молокосборной камеры коллектора были построены графические зависимости, представленные на рисунке 5.

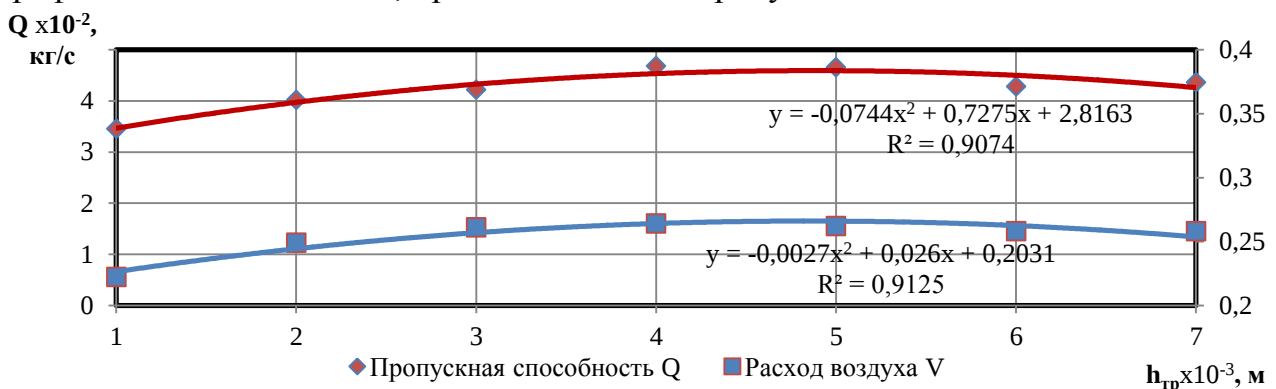


Рисунок 5 – Графические зависимости влияния высоты h_m установки отсасывающей трубки относительно дна молокосборной камеры коллектора.

Наибольшая пропускная способность $Q = 4,67 \times 10^{-2}$ кг/с наблюдалась при высоте установки отсасывающей трубки $h_m = 0,004$ м, при этом не оставалось молока на дне молокоборной камеры коллектора. Максимальная пропускная способность $Q = 5,21 \times 10^{-2}$ кг/с наблюдалась при диаметре отверстия для впуска воздуха в коллектор $d_0 = 0,0008$ м.

По результатам исследований влияния диаметра отсасывающей трубки и вакуумметрического давления на пропускную способность и расход воздуха доильного аппарата были построены графические зависимости, представленные на рисунке 6.

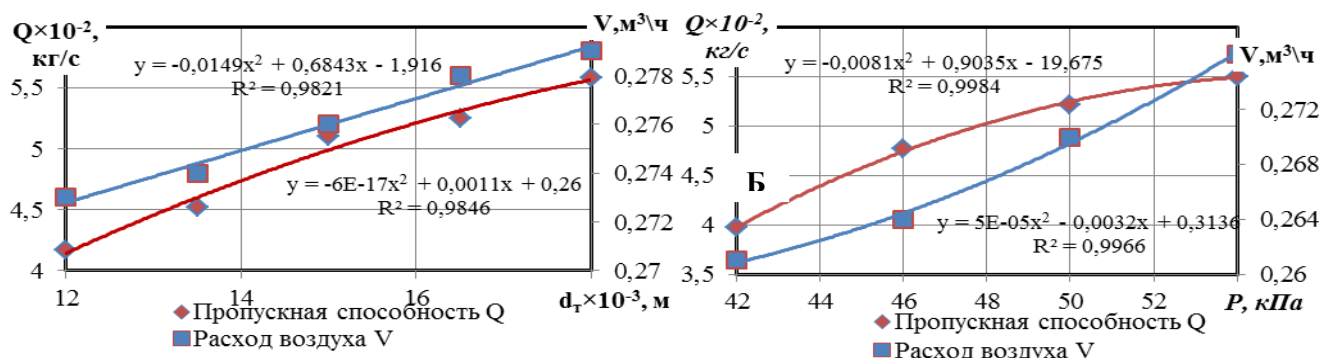


Рисунок 6 – Графические зависимости диаметра отсасывающей трубки (А) и вакуумметрического давления (Б) на пропускную способность и расход воздуха коллектором.

С увеличением диаметра отсасывающей трубки (рис. 6А), незначительно увеличивается расход воздуха коллектором, и наблюдается интенсивный рост пропускной способности до диаметра отсасывающей трубки $d_m = 0,015$ м, с $Q = 4,17 \times 10^{-2}$ до $5,1 \times 10^{-2}$ кг/с, далее пропускная способность в исследуемом интервале повышается на $0,48 \times 10^{-2}$ кг/с. Рост вакуумметрического давления (рис. 6Б), ведет к увеличению, как пропускной способности, так и расхода воздуха коллектором.

Для выявления рациональных параметров и режимов работы доильного аппарата с верхним отводом молока из коллектора, был проведен трехфакторный эксперимент. Значимыми факторами были выбраны вакуумметрическое давление p_v , диаметр отверстия для впуска воздуха в коллектор d_0 и диаметр отсасывающей трубки d_m .

В таблице 1 представлены матрица плана и уровни варьирования факторов

Таблица 1 – Матрица плана и уровни варьирования факторов

Уровень и интервал варьирования	Факторы			Критерии	
	Вакуумметрическое давление p , кПа	Диаметр отверстия в корпусе коллектора $d_0 \cdot 10^{-3}$, м	Диаметр отсасывающей трубки $d_m \cdot 10^{-3}$, м	Расход воздуха V , м ³ /ч	Пропускная способность Q , кг/с
	X_1	X_2	X_3	Y_1	Y_2
1	2	3	4	5	6
Верхний уровень (+1)	54	1,0	18	–	–
Основной уровень (0)	48	0,8	15	–	–

Продолжение таблицы 1

1	2	3	4	5	6
Нижний уровень (-1)	42	0,6	12	–	–
Интервал варьирования	6	0,2	3	–	–

В результате обработки на ПК получены следующие модели регрессии:

- для определения расхода воздуха коллектора V , м³/ч

$$V = -1,36338 + 0,00797917 p - 0,0000590278 p^2 + 1,40313 d_0 + 0,001875 p d_0 - 0,165625 d_0^2 + 0,0605833 d_m - 0,000166667 p d_m - 0,015 d_0 d_m - 0,00131944 d_m^2$$

- для определения пропускной способности коллектора Q , кг/с

$$Q = -14,9232 + 0,197146 p - 0,000886111 p^2 + 4,99088 d_0 - 0,00458333 p d_0 - 2,2775 d_0^2 + 1,33567 d_m - 0,004225 p d_m - 0,0920833 d_0 d_m - 0,0354056 d_m^2$$

В результате проведенной оптимизации, были выявлены рациональные параметры доильного аппарата: d_m диаметр отсасывающей трубки лежит в пределах от 0,015 до 0,016 м, диаметр отверстия для впуска воздуха в коллектор d_0 будет рациональным в интервале от 0,0007 до 0,0008 м, при вакуумметрическом давлении p_v в системе в интервале от 48 до 50 кПа, при высоте установки отсасывающей трубки относительно дна молокоборной камеры коллектора $h_m=0,004$ м.

Были проведены сравнительные исследования разработанного доильного аппарата с серийно выпускаемыми доильными аппаратами АДУ-1, АДС-25, DeLaval MC-11.

По результатам исследований по определению колебаний вакуума под сосками вымени коровы при доении и сравнительных испытаний доильного аппарата с верхним отводом молока из коллектора построены графические зависимости, представленные на рисунке 7.

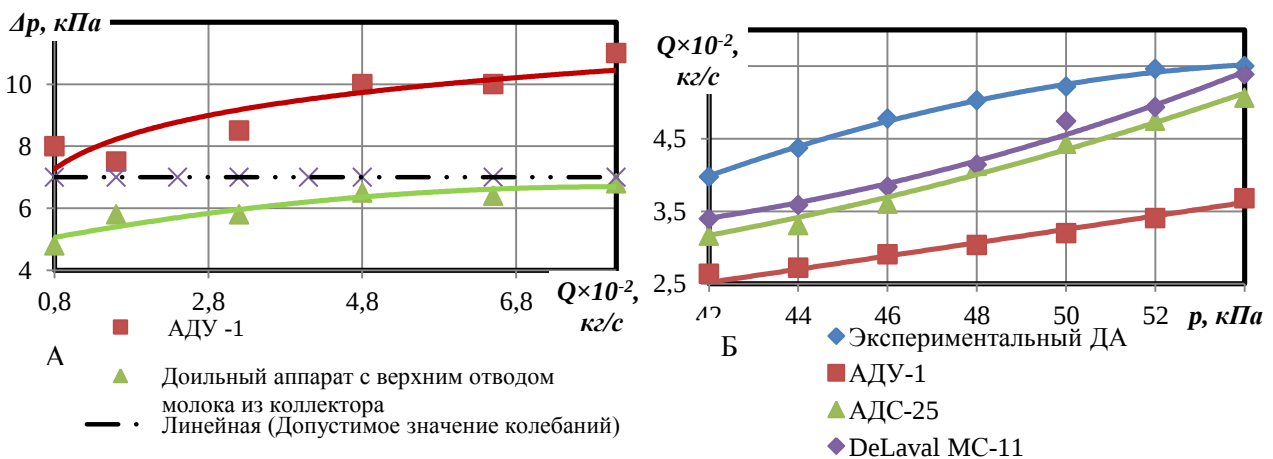


Рисунок 7 - Графические зависимости колебаний вакуума под сосками вымени коровы во время доения от пропускной способности (А) и сравнительные испытания доильных аппаратов (Б).

В результате анализа графических зависимостей можно сделать вывод, что колебания вакуума под сосками вымени коровы (рис. 7А) у доильного аппарата с верхним отводом молока из коллектора в среднем на 30% ниже, чем у серийно выпускаемого доильного аппарата АДУ-1. При вакууме (рис. 7Б) 48...50 кПа пропускная способность предлагаемого доильного аппарата составляет 5,02...5,21

кг/с, что на 17...9% соответственно больше чем у аппаратов MC-11(DeLaval) и АДС-25 (Беларусь).

Для проверки сходимости результатов исследований (рис. 8) представлены теоретическая и экспериментальная графические зависимости расхода воздуха от диаметра отверстия для впуска воздуха в коллектор и пропускной способности коллектора от диаметра отсасывающей трубки.

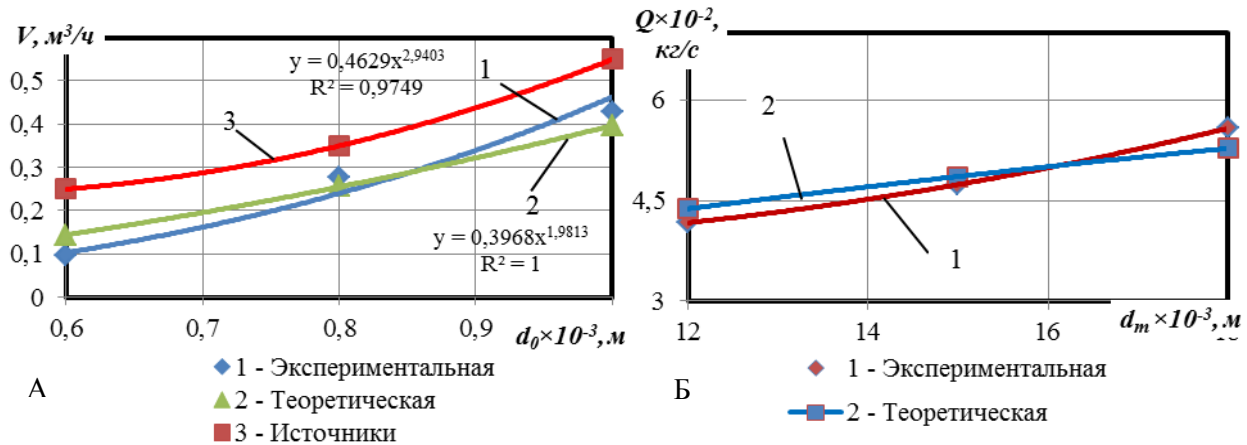


Рисунок 8 – Графики теоретических и экспериментальных исследований расхода воздуха V коллектором, от диаметра отверстия d_0 для впуска воздуха (А) и пропускной способности Q от диаметра d_m отсасывающей трубки (Б).

Установлено, что аналитические данные находятся в доверительном интервале экспериментальных исследований (отклонение не более 5%). Поэтому аналитические зависимости могут быть использованы для определения конструктивно-режимных параметров доильного аппарата с верхним отводом молока из коллектора.

В четвертой главе «Экономический эффект от применения разработанного доильного аппарата» изложены программа, методика, результаты экспериментальных исследований и расчет экономического эффекта от использования разработанного доильного аппарата.

Экспериментальные исследования разработанного доильного аппарата проводили на молочной ферме привязного содержания КФХ Сконников И. Ю. Рязского района Рязанской области в период с 15 августа 2016 года по 13 сентября 2016 года, на двух группах-аналогах коров черно-пестрой породы массой $550 \pm 10\%$ кг, на 2-3 периоде лактации, со средним годовым удоем 6155 кг за предыдущую лактацию. Производственные испытания включали в себя подготовительный период 5 дней, испытания 20 дней и заключительный этап который также составил 5 дней. На рисунке 9 представлен фрагмент доильной установки для проведения экспериментальных исследований.

Проверка степени полноты выдаивания после снятия доильного аппарата путем ручного дооя показала, что коровы выдаиваются полностью. Ручной додой составлял 70 – 120 г. Коровы спокойно переносили доение экспериментальным доильным аппаратом, патологических изменений вымени от экспериментального доильного аппарата не выявлено.



1 – модуль управления доением; 2 – испытуемый доильный аппарат; 3 – молокопровод; 4 - вакуумопровод

Рисунок 9 – Фрагмент доильной установки снабженной разработанным доильным аппаратом и контрольно-измерительным прибором.

В результате применения доильных аппаратов с верхним отводом молока из коллектора сократилась продолжительность доения стада на 14%, при снижении затрат труда на доение коровы на 15%, а производительность оператора увеличилась с 26 до 29 гол/ч. Интенсивность молоковыведения выросла на 23,5% по сравнению с используемыми в хозяйстве доильными аппаратами.

Результаты экономического расчета показывают, что применение доильных аппаратов с верхним отводом молока из коллектора, позволяет получить годовой экономический эффект в размере 115786 рублей из расчета на 220 коров. Срок окупаемости составляет 0,22 года.

Заключение

1. Анализ существующих конструкций доильных аппаратов показал их недостаточную пропускную способность и значительные колебания величины вакуума под сосками вымени коровы при молоковыведении, особенно при максимальном припуске или доении высокопродуктивных коров. Поэтому перспективный доильный аппарат должен обладать высокой пропускной способностью при стабильном вакууме под сосками вымени во время доения, что обеспечивает доильный аппарат с верхним отводом молока из коллектора. Предлагаемый доильный аппарат должен содержать доильные стаканы, пульсатор, молочный и вакуумные шланги, коллектор с коаксиально размещенной отсасывающей трубкой, образующей нижним концом осевой зазор с дном молокосборной камеры коллектора, а верхний конец которой, снабжен отверстием соизмеримым и совмещенным с отверстием выходного молочного патрубка. Конструкция коллектора с отсасывающей трубкой обеспечивает эффективный отвод молока при стабильном вакууме под сосками вымени при доении.

2. Теоретически установлено, что скорость воздуха, поступающего в коллектор через отверстие, зависит от его диаметра, рабочего вакуума, пропускной способности по молоку и соотношения воздуха и молока в

образующейся молоковоздушной смеси. При рекомендуемом диаметре отверстия 0,0008 м теоретическая подача воздуха составляет 0,276 м³/час.

Диаметр отсасывающей трубки коллектора при диспергированном движении молочно-воздушной смеси с ростом коэффициента гидравлического трения (0,2), плотности молока (1027 кг/м³), подачи молока (0,005 кг/с), величины соотношения воздуха и молока в молоковоздушной смеси (2,5), длины отсасывающей трубки (0,005 м) – повышается и при увеличении диаметра молокосборной камеры коллектора (0,09 м), величин вакуума (48-50 кПа) и плотности смеси уменьшается (600-700 кг/м³).

Высота установки отсасывающей трубки от дна молокосборной камеры коллектора с ростом величины вакуума, подачи молока, плотности молоковоздушной смеси и коэффициента подачи увеличивается и уменьшается при повышении коэффициента скорости, длины отсасывающей трубки и плотности молока. В результате теоретического расчета при заданных параметрах составляет 0,0038 м.

3. В результате лабораторных исследований установлено, что изменение диаметра отсасывающей трубки от 0,012 до 0,018 м повышает пропускную способность коллектора от 0,043 до 0,055 кг/с, а расход воздуха коллектором с 0,273 до 0,279 м³/ч.

Потеря величины вакуума при изменении подачи молока от 0,5 до 3,5 кг/мин увеличивается от 5 до 6,8 кПа, что на 30 % меньше чем у двухтактного доильного аппарата АДУ – 1 при вакууме 48 кПа.

Увеличение диаметра отверстия от 0,0005 до 0,001 м увеличивает расход воздуха от 0,057 до 0,428 м³/ч, а пропускную способность от 0,049 до 0,052 кг/с.

В результате многофакторного эксперимента установлены рациональные параметры доильного аппарата с верхним отводом молока из коллектора при которых обеспечивается его максимальная пропускная способность. Отверстие для впуска воздуха в коллектор от 0,0006 м до 0,0008 м, диаметр отсасывающей трубки 0,015 м при рабочем вакууме 46...50 кПа и высоте установки ее относительно дна коллектора – 0,004 м.

4. Экспериментальные исследования показали, что доильный аппарат с верхним отводом молока из коллектора, обеспечивает быстрое и полное выдаивание коров. Применение разработанных доильных аппаратов сокращает продолжительность доения стада на 15 %, что позволяет при привязном содержании коров повысить среднюю производительность оператора с 26 до 29 гол/ч. Годовой экономический эффект от использования предлагаемого доильного аппарата составляет 115768 рублей из расчета на обслуживание 220 коров. Срок окупаемости 0,22 лет.

Рекомендации производству:

Применение доильного аппарата с верхним отводом молока из коллектора с рациональными параметрами на молочных фермах позволит выдаивать высокопродуктивных коров, повысить производительность труда операторов машинного доения, сократить вредное воздействие от колебаний вакуума под сосками вымени коровы на вымя коровы. Полученные результаты могут быть

использованы предприятиями, занимающимися созданием и реализацией оборудования для отрасли молочного животноводства.

Перспективы дальнейшей разработки темы:

В дальнейшей перспективе научных исследований необходимо продолжить работу в направлении совершенствования процесса машинного доения коров, а также доильного аппарата с верхним отводом молока из коллектора, с целью разработки автоматизированного доильного аппарата, в том числе для привязного содержания животных.

Основные положения диссертации опубликованы в следующих работах:

статьи в изданиях рекомендованных ВАК РФ:

1. Панферов, Н.С. Экспериментальные исследования доильного аппарата с верхним отводом молока из коллектора в лабораторных условиях / Н.С. Панферов, В.М. Ульянов, В.А. Хрипин, А.В. Набатчиков // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета имени П.А. Костычева. – №3, 2016. – 118 с., с. 65-71

2. Панферов, Н.С. Теоретические исследования доильного аппарата с верхним отводом молока из коллектора / Н.С. Панферов, А.В. Набатчиков // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета (Научный журнал КубГАУ) [Электронный ресурс]. – Краснодар: КубГАУ, 2017. – №02(126). – Режим доступа: <http://ej.kubagro.ru/2017/02/pdf/14.pdf>, 0,750 у.п.л. – IDA [article ID]: 1261702014. <http://dx.doi.org/10.21515/1990-4665-126-014>

3. Панферов, Н. С. Стенд для испытания доильных аппаратов / В.М. Ульянов, В.А. Хрипин, Р.В. Коледов, Н.С. Панферов // Сельский механизатор. - 2015. - №7. - с. 22-23.

4. Панферов, Н. С. Экспериментальные исследования устройства для автоматического снятия доильного аппарата / В.М. Ульянов, Ю.А. Кирьянов, В.А. Хрипин, Р.В. Коледов, Н.С. Панферов // Вестник «Рязанского государственного агротехнологического университета имени П.А. Костычева». - 2016. - № 1 (29). - С. 90-96.

в патентах на изобретения:

5. Патент Российской федерации RU № 2565276 Двухтактный доильный аппарат попарного доения Ульянов В.М., Панферов Н.С., Хрипин В.А., Набатчиков А.В., Коледов Р.В., опубл.: 20.10.2015. Бюл. № 29

В других изданиях:

6. Панферов, Н.С. Экспериментальное исследование коллектора с верхним отводом молока/ Н.С. Панферов, В.А. Хрипин, А.В. Набатчиков, А.Н. Топильский // Научно-технический прогресс в АПК. Проблемы и перспективы: сборник научных статей по материалам Международной научно-практической конференции, в рамках XVIII Международной агропромышленной выставки «Агроуниверсал – 2016» (г. Ставрополь, 30 марта – 1 апреля 2016 г.) / под общ. ред. А.Т. Лебедева. – Ставрополь: АГРУС Ставропольского государственного аграрного университета, 2016. – 384 с., с. 124-127

7. Панферов, Н.С. Лабораторные исследования коллектора доильного аппарата/ В. М. Панферов, В.М. Ульянов, А.В. Набатчиков //В сборнике: Инновационные подходы к развитию агропромышленного комплекса региона.

Материалы 67-ой Международной научно-практической конференции. Министерство сельского хозяйства Российской Федерации; Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева". 2016. С. 86-89

8. Панферов, Н. С. Доильный аппарат с верхней эвакуацией молока/ В.М. Ульянов, Д.Г. Десинов, А.В. Набатчиков Н. С. Панферов, // Аграрная наука–сельскому хозяйству: сборник статей в 3 кн./ 1X Международная научно-практическая конференция, Барнаул: РИО АГАУ, 2014. Кн.3.– С.51 – 52

9. Панферов, Н. С. Двухтактный доильный аппарат с верхним отводом молока из коллектора/ В.М. Ульянов, А.В. Набатчиков, Н. С. Панферов // В сборнике: Проблемы и перспективы инновационного развития агротехнологий. Материалы XIX Международной научно- производственной конференции. ФГБОУ ВО Белгородский ГАУ, 2015. С. 81

10. Панферов, Н.С. Доильный аппарат/ В.М. Ульянов, В.А. Хрипин, А. В. Набатчиков, Панферов Н.С. Аграрная наука как основа продовольственной безопасности региона: Материалы 66-й международной научно-практической конференции 14 мая 2015 года.– Рязань. Издательство Рязанского государственного агротехнологического университета, 2015. – Часть 2. 230 с. С.198-200

11. Панферов, Н.С. Экспериментальное исследование коллектора с верхним отводом молока / В.А. Хрипин, Н.С. Панферов, А.В. Набатчиков, А.Н. Топильский // Научно-технический прогресс в АПК. Проблемы и перспективы: сборник научных статей по материалам Международной научно-практической конференции, в рамках XVIII Международной агропромышленной выставки «Агроуниверсал – 2016» (г. Ставрополь, 30 марта – 1 апреля 2016 г.) / под общ. ред. А.Т. Лебедева. – Ставрополь: АГРУС Ставропольского государственного аграрного университета, 2016. – 384 с., с. 124-127

12. Панфееров, Н.С. Доильный аппарат с верхней эвакуацией молока из коллектора/ В. М. Ульянов, А. В. Набатчиков, Н. С. Панферов // Сборник материалов международной научно-практической конференции, посвященной Дню российской науки «Образование, наука, практика: инновационный аспект», Том 2, Пенза 2015, с. 104-106

13. Панферов, Н.С. Высокоэффективный доильный аппарат/ В. М. Ульянов, В. А. Хрипин, А. В. Набатчиков, А. А. Хрипин, Н. С. Панферов// Инновационное развитие современного агропромышленного комплекса России, Материалы национальной научно-практической конференции. Министерство сельского хозяйства РФ, ФГБОУ ВО РГАТУ, 2016. – С. 193-196.