

На правах рукописи



Кузьмина Ольга Сергеевна

**РАЗРАБОТКА ДАТЧИКОВ ПОТОКА МОЛОКА
ДОИЛЬНОГО АППАРАТА С ПОЧЕТВЕРТНОЙ АДАПТАЦИЕЙ
РЕЖИМА ДОЕНИЯ КОРОВ**

Специальность: 05.20.01 – технологии и средства
механизации сельского хозяйства

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Мичуринск-наукоград РФ
2021

Работа выполнена на кафедре машин и оборудования в агробизнесе в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Белгородский государственный аграрный университет имени В.Я. Горина» (ФГБОУ ВО Белгородский ГАУ)

Научный руководитель: доктор технических наук, профессор
Ужик Владимир Федорович

Официальные оппоненты: **Кирсанов Владимир Вячеславович**, доктор технических наук, профессор, ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ», отдел механизации и автоматизации животноводства, заведующий

Краснов Иван Николаевич, доктор технических наук, профессор, Азово-Черноморский инженерный институт – филиал ФГБОУ ВО «Донской государственный аграрный университет», кафедра технологий и средств механизации агропромышленного комплекса, профессор

Ведущая организация: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I»

Защита диссертации состоится 11 ноября 2021 г. в 13-30 часов на заседании объединенного диссертационного совета Д 999.179.03, созданного на базе ФГБОУ ВО «Мичуринский государственный аграрный университет», ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве» по адресу: 393760, Тамбовская область, г. Мичуринск, ул. Интернациональная, д. 101, корпус 1, зал заседаний диссертационных советов, тел/факс (47545)3-88-13, доб. 3-82, E-mail: dissov@mgau.ru.

С диссертацией и авторефератом можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВО Мичуринский ГАУ и на сайте www.mgau.ru, с авторефератом – на сайте Высшей аттестационной комиссии Министерства науки и высшего образования Российской Федерации www.vak.minobrnauki.gov.ru.

Отзывы на автореферат в двух экземплярах, заверенные и скрепленные гербовой печатью, с указанием индекса, почтового адреса, телефона, электронной почты и сайта организации, фамилии, имени, отчества лица, подготовившего отзыв, просим направить ученому секретарю диссертационного совета.

Автореферат разослан «____» сентября 2021 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета,
кандидат технических наук,
доцент

Михеев Николай Владимирович

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. Анализ данных опубликованных источников, касающихся результатов поиска учёными и практиками оптимальных способов доения коров, изучение опыта эксплуатации серийного доильного оборудования позволили авторам прийти к заключению, что в настоящее время на данном уровне развития науки и техники вполне возможно применение полуавтоматов доения коров при их привязном содержании со сбором молока в молокопровод или бидон. Необходимость их использования обусловлена несколькими факторами. Во-первых, это обеспечение максимальной выдоенности вымени коровы, контролируемой датчиками интенсивности потока молока, исключающими субъективную оценку данного параметра оператором машинного доения. Во-вторых, это безопасное воздействие на молочную железу вакуумметрического давления доения в результате его изменения в зависимости от интенсивности потока молока. В-третьих, это повышение производительности труда оператора машинного доения за счёт автоматизации заключительных операций. Причём эффективность полуавтоматов доения коров значительно повышается при использовании доильных машин, обладающих возможностью почётвертного управления режимом доения. К сожалению, в настоящее время такой режим доения реализован только лишь в доильных установках-роботах. В значительной степени устанавливаемый режим работы доильного аппарата зависит от эффективности применяемого датчика потока молока. Предложения учёных и практиков по их устройству в конструкции переносных доильных аппаратов с управлением по долям режимом доения по различным причинам не нашли применения в производстве. Поэтому исследования, направленные на разработку и обоснование конструктивных параметров датчика потока молока для доильного аппарата с подольным управляемым режимом доения, представляются актуальными.

Степень разработанности темы. Созданием перспективного доильного оборудования с элементами автоматизации процесса занимались Е.А. Андрианов, И.К. Винников, Л.П. Карташов, В.В. Кирсанов, И.Н. Краснов, П.И. Огородников, С.А. Соловьев, В.Ф. Ужик, В.М. Ульянов, Ю.А. Цой, и др. Однако, из анализа их работ следует, что недостаточно исследованным остается вопрос разработки и использования почётвертного адаптивного доильного оборудования для коров, содержащихся на привязи.

Цель исследований. Увеличение продуцирования молока и снижение уровня заболеваемости вымени коров маститом на основе разработки, обоснования конструктивно-режимных параметров и применения датчика потока молока в конструкции почётвертного адаптивного доильного аппарата.

Задачи исследований. Для достижения цели исследований необходимо решить следующие задачи:

- выявить перспективное направление в создании датчика потока молока почётвертного адаптивного доильного аппарата, разработать его конструкцию;
- разработать математические модели рабочего процесса элементов конструкции датчика потока молока;
- на основе теоретических и экспериментальных исследований установить оптимальные конструктивные и режимные параметры элементов конструкции датчика потока молока;

- изучить влияние разработанного почетвертного адаптивного доильного аппарата на продуцирование молока и уровень заболеваемости вымени коров маститом;
- дать экономическую оценку эффективности использования почетвертного адаптивного доильного аппарата.

Объект исследований – рабочий процесс датчика потока молока почетвертного адаптивного доильного аппарата.

Предмет исследований – закономерности изменения параметров работы элементов конструкции датчика потока молока почетвертного адаптивного доильного аппарата.

Научная новизна диссертационной работы:

- теоретические и практические положения, обосновывающие перспективное направление в создании датчика потока молока почетвертного адаптивного доильного аппарата;
- математические выражения, описывающие рабочие процессы элементов конструкции датчика потока молока почетвертного адаптивного доильного аппарата;
- результаты лабораторных исследований и хозяйственных испытаний почетвертного адаптивного доильного аппарата.

Теоретическая и практическая значимость. Разработан датчик потока молока почетвертного адаптивного доильного аппарата, обладающий возможностью управления давлением вакуума под сосками и в межстенных камерах доильных стаканов, в зависимости от расхода молока, выводимого из вымени коровы. Новизна технического решения подтверждена патентом на изобретение РФ № 2695868 «Переносной манипулятор для доения коров» и патентом на полезную модель № 202513 «Доильный аппарат». Определены теоретические зависимости для расчета конструктивно-режимных параметров элементов конструкции датчика потока молока почетвертного адаптивного доильного аппарата, которые подтверждены лабораторными исследованиями и хозяйственными испытаниями.

Результаты диссертационных исследований имеют большую практическую значимость для сельскохозяйственного производства, учебных заведений, проектных и научных организаций.

Методология и методы исследований. При выполнении математического описания рабочего процесса элементов конструкции датчика потока молока почетвертного адаптивного доильного аппарата использованы известные законы физики, теоретической механики, гидравлики и математики. Математическое моделирование проводили с целью получения математических зависимостей, которые позволяют установить основные конструктивно-режимные параметры разработанного датчика потока молока доильного аппарата. При проведении экспериментальных исследований применяли общеизвестные и частные методики. Экспериментальные исследования и хозяйственные испытания осуществляли с использованием как известных современных приборов, так и специально разработанных стендов. Новизна технических решений подтверждена патентом на изобретение РФ № 2727358 «Стенд для имитации работы и испытания датчика потока молока доильного аппарата», патентом на полезную модель № 202514 «Стенд для имитации и исследования взаимодействия магнита и геркона датчика потока молока доильного аппарата», патентом на полезную модель № 205593 «Стенд для измерения стрелы прогиба мембраны под действием одностороннего давления рабочей среды», заявкой на полезную модель № 2021103970 «Стенд для калибровки тензо-

метрического вакуумметра». Анализ материалов исследований осуществляли с использованием программного обеспечения известными методами статистической обработки данных.

Положения, выносимые на защиту:

- конструктивно-технологическая схема почетвертного адаптивного доильного аппарата;
- математические модели рабочего процесса элементов конструкции датчика потока молока почетвертного адаптивного доильного аппарата;
- результаты лабораторных исследований по обоснованию и оптимизации конструктивно-режимных параметров элементов конструкции датчика потока молока почетвертного адаптивного доильного аппарата;
- результаты хозяйственных испытаний разработанного почетвертного адаптивного доильного аппарата;
- результаты расчета экономической эффективности почетвертного адаптивного доильного аппарата.

Степень достоверности результатов работы. Степень достоверности научных положений подтверждается удовлетворительной сходимостью теоретических и экспериментальных исследований, сравнительными испытаниями разработанного почетвертного адаптивного доильного аппарата, применением современных методик и средств обработки результатов экспериментов.

Апробация работы. Основные положения работы доложены, обсуждены на международных, всероссийских и региональных научно-практических конференциях: национальной научно-практической конференции "Актуальные проблемы разработки, эксплуатации и технического сервиса машин в агропромышленном комплексе", посвященной 40-летию Белгородского ГАУ, 2019 г., п. Майский; XXIII международной научно-производственной конференции «Инновационные решения в аграрной науке – взгляд в будущее», 28-29 мая 2019 г., п. Майский; 22-й Всероссийской конференции с международным участием «Научное обеспечение производства органической продукции животноводства», 24-25 апреля 2019 г., г. Москва; национальной (всероссийской) научно-практической конференции с международным участием «Агроинженерия в XXI веке: проблемы и перспективы» посвященной 30-летию инженерного факультета им. А.Ф. Пономарева, 2020 г., п. Майский; XXIV Международной научно-производственной конференции «Инновационные решения в аграрной науке – взгляд в будущее», 27-28 мая 2020 г., п. Майский; межвузовского научного конгресса, 28 мая 2020 г., г. Москва; национальной научно-практической конференции «Инновационные решения в агроинженерии в XXI веке». Решения проблем взаимодействия науки и бизнеса, 2021 г., п. Майский.

Публикации. По материалам диссертации опубликовано 12 работ, в т. ч. в изданиях, рекомендованных ВАК РФ – 3 работы, получены патенты на изобретение РФ № 2695868, № 2727358, патенты на полезную модель № 202513, № 202514, № 205593. Общий объем публикаций составил 7,42 усл. печ. л., в том числе 4,93 усл. печ. л. принадлежит лично соискателю.

Объем диссертации:

Диссертационная работа изложена на 263 стр. машинописного текста, включая список литературы из 202 наименований, содержит 15 таблиц, 55 рисунков и 30 приложений.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы, изложены состояние вопроса, цель, задачи и приведены основные положения, выносимые на защиту.

В первой главе «Анализ состояния вопроса применения и исследований адаптивного доильного оборудования и создания его элементов управления режимом доения» отмечается о целесообразности трансфера в молочное скотоводство автоматизированных и цифровых технологий, обеспечивающих исключение субъективного формирования управляющих воздействий на процесс доения, осуществляемых оператором машинного доения. А так как в настоящее время более 60%, а в отдельных регионах и более 90%, коров в Российской Федерации содержатся на привязи, то они должны быть выполнены в переносном варианте, быть компактны, с почетвертным регулируемым вакуумметрическим давлением в доильных стаканах под управлением расположенных в коллекторе поплавковых датчиков потока молока с герконом и магнитом, и для уменьшения габаритных размеров коллектора совмещаемых с регуляторами вакуумметрического давления в подсосковых и межстенных камерах доильных стаканов.

Во второй главе «Теоретические исследования рабочего процесса датчика потока молока почетвертного адаптивного доильного аппарата» отмечается, что автором при создании адаптивного доильного аппарата разрабатывались несколько направлений, результатом которых стал почетвертной адаптивный доильный аппарат с поплавковыми датчиками потока молока, снабженными герконами и магнитами (Рисунок 1).

Как следует из описания работы предложенного нами доильного аппарата, при нижнем положении поплавка 1 (Рисунок 2) геркон 3 находится в магнитном поле магнита 2, магнитодвижущая сила которого равна или больше магнитодвижущей силы $F_{зам}$ замыкания его контактов.

В таком случае в доильном стакане устанавливается стимулирующий режим доения. Для переключения доильного стакана в номинальный режим доения необходимо, чтобы его перемещение y_{mg} в вертикальной плоскости относительно геркона 3 вдоль оси Y Декартовой системы координат, начало которой расположено на горизонтальной линии, проходящей через центр его симметрии, было таким, при котором магнитодвижущая сила магнита F в зоне геркона уменьшилась и стала ниже магнитодвижущей силы $F_{раз}$ перехода геркона в исходное состояние. Определить данное перемещение можно, воспользовавшись уравнением (1), вначале установив закономерность изменения напряженности магнитного поля на герконе в зависимости от a – удаления точки определения напряженности магнитного поля от плоскости магнита:

$$H = \frac{B_r}{\pi\mu_0} \left[\arctan \frac{AB}{2a\sqrt{4a^2+A^2+B^2}} - \arctan \frac{AB}{2(C+a)\sqrt{4(C+a)^2+A^2+B^2}} \right], \quad (1)$$

где B_r – остаточная индукция магнита, Тл; A , B , C – стороны магнита, м; μ_0 – магнитная постоянная, $\mu_0 = 4\pi 10^{-7}$ Гн/м; a – удаление точки определения напряженности магнитного поля от плоскости магнита, образованной сторонами A и B , м.

В нашем случае (Рисунок 2), мы можем записать:

$$a = y_{mg}. \quad (2)$$

А так как магнитодвижущая сила F (МДС) связана с напряженностью магнитного поля в этой же точке выражением:

$$F = aH, \quad (3)$$

то с учетом уравнения (1) мы можем записать равенство для определения характера зависимости магнитодвижущей силы на герконе от удаления от него магнита:

$$F = \frac{aB_r}{\pi\mu_0} \left[\arctan \frac{AB}{2a\sqrt{4a^2+A^2+B^2}} - \arctan \frac{AB}{2(C+a)\sqrt{4(C+a)^2+A^2+B^2}} \right], \quad (4)$$

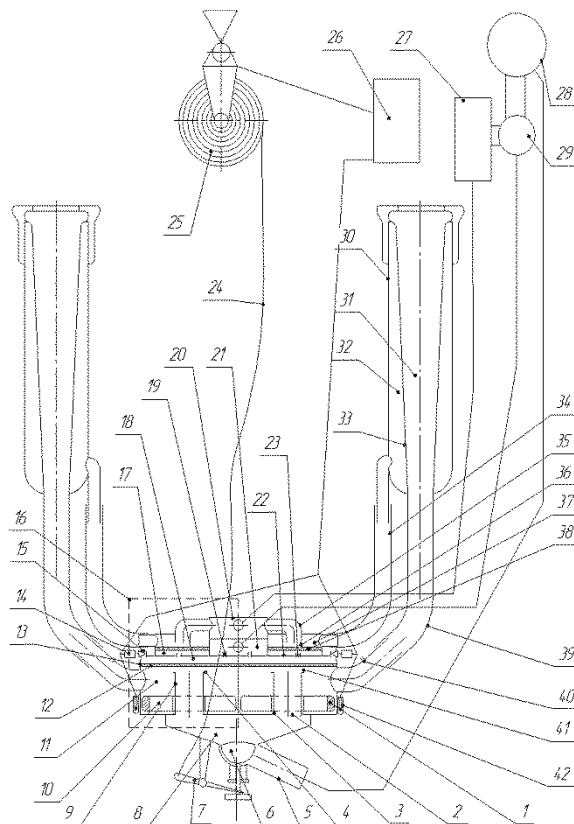


Рисунок 1 – Доильный аппарат с почетвертной адаптацией режима доения:

- 1 – магнит; 2 – отверстие; 3 – выемка; 4 – буртик; 5, 34, 35, 39 – патрубок; 6 – клапан; 7 – рычаг; 8 – молокоприемная камера; 9 – подвижной патрубок; 10 – поплавок; 11 – молоколовушка; 12, 38 – мембрана; 13 – коллектор; 14 – электроклапан; 15 – канал; 16 – секция; 17, 18 – камера управления; 19 – канал; 20, 21 – камера; 22 – перегородка; 23 – калиброванный канал; 24 – трос; 25 – пружинный механизм; 26 – блок управления; 27 – пульсатор; 28 – молокопровод; 29 – вакуумная магистраль; 30 – стакан; 31, 32 – камера; 33 – сосковая резина; 36 – щель; 37 – камера регулируемого вакуумметрического давления; 40 – калиброванное отверстие; 41 – щель; 42 – геркон

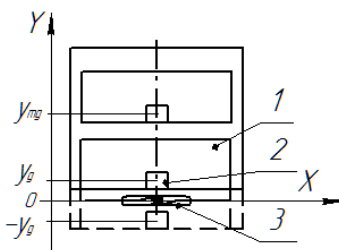


Рисунок 2 – К определению перемещения поплавка:

- 1 – поплавок; 2 – магнит; 3 – геркон

Герконы обладают гистерезисом. Поэтому магнитодвижущие силы $F_{зам}$ замыкания и магнитодвижущие силы $F_{раз}$ размыкания их контактов не равны между собой.

В таком случае, решив уравнение (4) относительно a и подставив в него значение магнитодвижущей силы $F_{зам}$ замыкания геркона, взятое из его характеристики, мы можем определить максимально допустимое удаление a_{zmax} точки креп-

ления геркона к корпусу молоколовушки от магнита при нижнем положении поплавка (Рисунок 2):

$$|\pm y_g| = k_z a_{zmax}, \quad (5)$$

где y_g – максимально допустимое удаление a_{zmax} точки крепления геркона к корпусу молоколовушки от магнита при нижнем положении поплавка с учетом коэффициента надежности замыкания контактов геркона, m ; k_z – коэффициент надежности замыкания контактов геркона, $k_z < 1$.

А подставив в уравнение (4) значение магнитодвижущей силы $F_{раз}$ размыкания контактов геркона, мы можем определить минимально допустимое удаление a_{rmin} от геркона магнита при всплытии поплавка (Рисунок 2):

$$y_{mg} = k_r a_{rmin}, \quad (6)$$

где k_r – коэффициент надежности размыкания контактов геркона, $k_r > 1$.

Из этого следует, что перемещение поплавка, при котором обеспечивается включение номинального режима доения данного соска коровы, составляет:

$$\Delta y = y_{mg} - y_f, \quad (7)$$

где Δy – перемещение поплавка в результате всплытия, при котором обеспечивается размыкание контактов геркона, m ; y_f – фактическое положение точки крепления геркона на корпусе молоколовушки, выбранное из конструктивных соображений, m .

При этом, при выборе местоположения геркона должно выполняться условие:

$$-y_g < y_f < +y_g, \quad (8)$$

При поступлении молока в молоколовушку 1 согласно закону Архимеда на поплавок 5 начинает действовать подъемная сила F_v , величина которой зависит от глубины погружения поплавка в молоко и его площади поперечного сечения (Рисунок 3):

$$F_v = \gamma h_{mp} S_p, \quad (9)$$

где γ – удельный вес молока, H/m^3 ; h_{mp} – глубина погружения поплавка в молоко, m ; S_p – площадь поперечного сечения поплавка, m^2 .

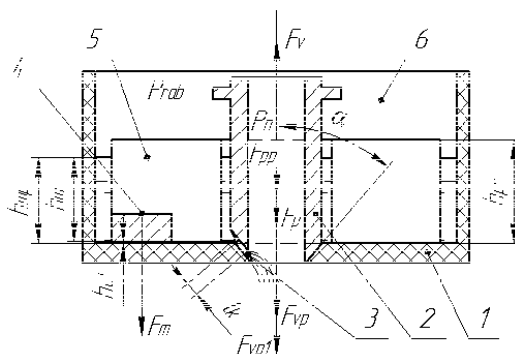


Рисунок 3 – Молоколовушка с поплавком:

1 – молоколовушка; 2 – подвижной патрубков; 3 – калиброванный канал;
4 – магнит; 5 – поплавок, 6 – камера

Из условия работоспособности поплавкового датчика потока молока: – высота поплавка должна быть не менее глубины погружения поплавка в молоко:

$$h_{pr} = \frac{4k_p(F_p + F_m + F_{pp})}{\pi\gamma(D_p^2 - d_p^2)}, \quad (10)$$

где h_{pr} – практическая высота поплавка, m ; k_p – коэффициент запаса высоты поплавка; F_p – вес поплавка, H ; F_m – вес магнита, H ; F_{pp} – вес подвижного патрубков, H ; γ – удельный вес молока, H/m^3 ; D_p – наружный диаметр поплавка, m ; d_p – диаметр отверстия поплавка, m .

А так как при интенсивной молокоотдаче поплавок, всплывая, приподнимает за буртик и подвижной патрубок, тем самым образуя щель для истечения молока, мы можем определить минимально допустимое расстояние от дна молоколовушки до буртика подвижного патрубка при крайнем нижнем его положении:

$$h_{opt} = k_{opt} \left(\frac{4k_p(F_p + F_m + F_{pp})}{\pi\gamma(D_p^2 - d_p^2)} + k_r a_{rmin} - y_f \right), \quad (11)$$

где h_{opt} – оптимальное расстояние от дна молоколовушки до буртика подвижного патрубка при крайнем нижнем его положении, м; k_{opt} – коэффициент запаса расстояния, $k_{opt} > 1$.

При интенсивности потока молока, не выше установленного для доения в стимулирующем режиме, например, 50 мл/мин, из молоколовушки молоко стекает в молокоприемную камеру коллектора через калиброванный канал, образованный подвижным патрубком, который содержит калиброванную выемку, с посадочным гнездом в отверстии, выполненном в дне молоколовушки.

Напор истечения молока из молоколовушки формируется глубиной погружения центра тяжести поперечного сечения калиброванного канала, а также перепадом давления в молоколовушке и молокоприемной камере коллектора. Поперечное сечение калиброванного канала состоит из двух составляющих:

$$S_k = S_{k1} + S_{k2}, \quad (12)$$

где S_k – площадь поперечного сечения канала истечения молока из молоколовушки, м²; S_{k1} – площадь поперечного сечения выемки в подвижном патрубке, м²; S_{k2} – площадь поперечного сечения части калиброванного канала, образуемая конической поверхностью посадочного гнезда, м².

При этом, сопряжение коническая поверхность подвижного патрубка – посадочное гнездо не должно обладать натягом, а должно обеспечивать лишь водо – молоконепроницаемость, т.е. угол α отклонения образующих конической поверхности от оси симметрии должен быть больше угла трения скольжения взаимодействующих поверхностей. В окончательном виде уравнение для определения площади поперечного сечения канала истечения молока из молоколовушки имеет вид:

$$S_k = \frac{\pi d_k^2}{8} + \frac{d \tan 2\alpha}{4 \sin \alpha} \sqrt{\left(\frac{d(\tan 2\alpha \tan \alpha + 2)}{4} \right)^2 - \left(\frac{d[2 - \cos 2\alpha(\tan 2\alpha \tan \alpha + 2)]}{4 \cos 2\alpha} \right)^2} \times \\ \times \arccos \sqrt{\left(1 - \frac{d_k^2}{4 \left[\left(\frac{d(\tan 2\alpha \tan \alpha + 2)}{4} \right)^2 - \left(\frac{d[2 - \cos 2\alpha(\tan 2\alpha \tan \alpha + 2)]}{4 \cos 2\alpha} \right)^2 \right]} \right)} - \\ - \frac{d d_k \tan 2\alpha}{8 \sin \alpha} \sqrt{\left(1 - \frac{d_k^2}{4 \left[\left(\frac{d(\tan 2\alpha \tan \alpha + 2)}{4} \right)^2 - \left(\frac{d[2 - \cos 2\alpha(\tan 2\alpha \tan \alpha + 2)]}{4 \cos 2\alpha} \right)^2 \right]} \right)}, \quad (13)$$

где d – больший диаметр конического отверстия, м; d_k – диаметр поперечного сечения выемки в подвижном патрубке, м.

При этом, следует заметить, что с приближением к вершине конуса площадь поперечного сечения канала истечения молока увеличивается.

При определении положения центра тяжести поперечного сечения канала истечения молока из молоколовушки, – точки приложения напора истечения, мы исходили из того, что канал состоит из двух составляющих: сечение выемки в по-

движном патрубке и часть калиброванного канала, образуемая конической поверхностью посадочного гнезда:

$$h_{ct} = \frac{(d_k^3 - 6S_{k2}y_{02})}{6S_k} \sin \beta, \quad (14)$$

где h_{ct} – высота положения центра тяжести поперечного сечения сливного канала над дном молоколовушки, м; y_{02} – положения центра тяжести относительно разделительной линии сечения выемки в подвижном патрубке и части калиброванного канала, образуемая конической поверхностью посадочного гнезда; β – угол положения оси симметрии и образующей выемки в подвижном патрубке относительно оси симметрии.

В таком случае напор истечения, создаваемый столбом молока в стимулирующем режиме доения при нижнем положении поплавка (Рисунок 3), может в критической точке на грани начала всплытия поплавка достигать значения:

$$h_m = h_{mp} - h_{ct}. \quad (15)$$

где h_{mp} – глубина погружения поплавка, м.

А так как в уравнении для расчета расхода молока из молоколовушки через калиброванный канал 3 (Рисунок 3) при доении коровы в стимулирующем режиме напор истечения H молока из молоколовушки включает и напор, создаваемый перепадом давления между давлением в молоколовушке и молокоприемной камере коллектора:

$$Q_{ms} = \varepsilon \varphi S_{ky} \sqrt{2g \left(h_m + \frac{P_n - P_{st}}{\gamma} \right)}, \quad (16)$$

где Q_{ms} – расход молока при доении в стимулирующем режиме, $м^3/с$; φ – коэффициент скорости; ε – коэффициент сжатия струи; S_{ky} – площадь на выходе поперечного сечения канала истечения молока из молоколовушки, $м^2$; P_n – номинальное вакуумметрическое давление, $Па$; P_{st} – вакуумметрическое давление при доении в стимулирующем режиме, $Па$; γ – удельный вес молока, $Н/м^3$, а приведенный диаметр калиброванного канала истечения молока можно представить как:

$$d_{pr} = 2 \left\{ \left[\frac{\pi d_k^2}{8} + \frac{(d - 2y \tan \alpha) \tan 2\alpha}{4 \sin \alpha} \right] \times \sqrt{\left(\frac{(d - 2y \tan \alpha)(\tan 2\alpha \tan \alpha + 2)}{4} \right)^2 - \left(\frac{(d - 2y \tan \alpha)[2 - \cos 2\alpha (\tan 2\alpha \tan \alpha + 2)]}{4 \cos 2\alpha} \right)^2} \times \right. \\ \times \arccos \sqrt{\left(1 - \frac{d_k^2}{4 \left[\left(\frac{(d - 2y \tan \alpha)(\tan 2\alpha \tan \alpha + 2)}{4} \right)^2 - \left(\frac{(d - 2y \tan \alpha)[2 - \cos 2\alpha (\tan 2\alpha \tan \alpha + 2)]}{4 \cos 2\alpha} \right)^2 \right]} \right)} - \\ \left. - \frac{(d - 2y \tan \alpha) d_k \tan 2\alpha}{8 \sin \alpha} \right\} \times \\ \times \sqrt{\left(1 - \frac{d_k^2}{4 \left[\left(\frac{(d - 2y \tan \alpha)(\tan 2\alpha \tan \alpha + 2)}{4} \right)^2 - \left(\frac{(d - 2y \tan \alpha)[2 - \cos 2\alpha (\tan 2\alpha \tan \alpha + 2)]}{4 \cos 2\alpha} \right)^2 \right]} \right) / \pi}^{0.5}, \quad (17)$$

где d_{pr} – приведенный диаметр калиброванного канала, м, то мы можем определить зависимость расхода молока из молоколовушки от диаметра выемки в подвижном патрубке.

Для обеспечения транспортировки молока, а также установления заданного режима в молоколовушке 10 (Рисунок 4), в патрубке 7, сообщающем молоколовушку с подсосковой камерой доильного стакана, выполнено калиброванное отверстие 8 для поступления атмосферного воздуха.

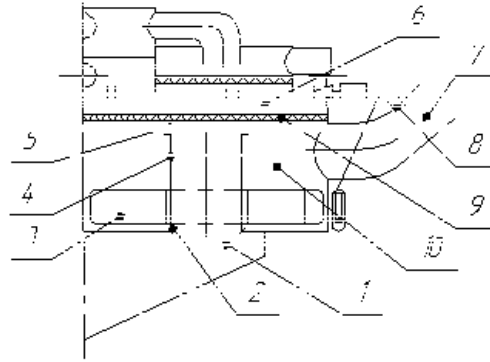


Рисунок 4 – К определению параметров калиброванного отверстия для подсоса воздуха из атмосферы:

1 – молокоприемная камера; 2 – калиброванный канал; 3 – поплавков; 4 – подвижной патрубков; 5 – калиброванная щель; 6 – камера управления; 7 – патрубков; 8 – калиброванное отверстие; 9 – мембрана; 10 – молоколовушка

При отсутствии молока в молоколовушке и нижнем положении поплавка 3, в камере управления 6 устанавливается пониженное вакуумметрическое давление, что приводит к прогибу мембраны 9 вниз, под воздействием номинального вакуумметрического давления P_n в молокоприемной камере 1 и подвижном патрубке 4, и уменьшению калиброванной щели 5, образуемой мембраной 9 и верхним обрезом подвижного патрубка 4. В результате, в молоколовушке 10 устанавливается вакуумметрическое давление P_{st} , соответствующее стимулирующему режиму доения. Но при этом следует заметить, что одновременно откачка воздуха из молоколовушки 10 осуществляется и через калиброванный канал 2, образуемый подвижным патрубком 4 в посадочном гнезде. Используя известные законы Пуазейля движения воздуха по каналам под воздействием перепада давления, запишем уравнение баланса:

$$\frac{\pi d_{prk}^4}{128\mu_v l} (P_{st} - P_n) = \frac{\pi d_{otv}^4}{128\mu_v l_s} (P_a - P_{st}), \quad (18)$$

где d_{prk} – приведенный диаметр калиброванного канала, м; μ_v – динамическая вязкость воздуха, $18.1 \cdot 10^{-6}$ Па·с; d_{otv} – диаметр калиброванного отверстия, м; l_s – толщина стенки патрубка, м; P_a – атмосферное давление, Па.

Задаваясь толщиной стенки патрубка 7, из уравнения (20) мы можем определить минимально допустимый диаметр d_{otv} отверстия, при котором удовлетворяется оговоренное выше условие:

$$d_{otv} = \left(2 \left(\frac{\pi d_k^2}{8} + \frac{d \tan 2\alpha}{4 \sin \alpha} \sqrt{\left(\frac{d(\tan 2\alpha \tan \alpha + 2)}{4} \right)^2 - \left(\frac{d[2 - \cos 2\alpha(\tan 2\alpha \tan \alpha + 2)]}{4 \cos 2\alpha} \right)^2} \right) \times \right. \\ \times \arccos \sqrt{\left(1 - \frac{d_k^2}{4 \left[\left(\frac{d(\tan 2\alpha \tan \alpha + 2)}{4} \right)^2 - \left(\frac{d[2 - \cos 2\alpha(\tan 2\alpha \tan \alpha + 2)]}{4 \cos 2\alpha} \right)^2 \right]} \right) -} \\ \left. - \frac{d d_k \tan 2\alpha}{8 \sin \alpha} \sqrt{\left(1 - \frac{d_k^2}{4 \left[\left(\frac{d(\tan 2\alpha \tan \alpha + 2)}{4} \right)^2 - \left(\frac{d[2 - \cos 2\alpha(\tan 2\alpha \tan \alpha + 2)]}{4 \cos 2\alpha} \right)^2 \right]} \right) / \pi \right)^{0.5}} \\ \sqrt[4]{\frac{2l_s(P_{st} - P_n) \sin \beta}{(P_a - P_{st}) \left(\sqrt{d^2 - d_k^2} - d_k \cos \beta - d_v \right)}}. \quad (19)$$

где d – больший диаметр конического посадочного гнезда в дне молоколовушки, м.

В режиме номинального доения при всплытии поплавков 1 (Рисунок 5) за буртик 11 поднимает за собой подвижной патрубок 2, тем самым образуя нижним обрезом подвижного патрубка 2 с посадочным гнездом щель 3 для слива молока через отверстие в дне молоколовушки в молокоприемную камеру коллектора. Напор истечения H_n молока из молоколовушки включает напор, создаваемый столбом молока в молоколовушке, и напор, создаваемый перепадом давления между давлением в молоколовушке и молокоприемной камере коллектора:

$$H_n = h_{im} + \frac{P_n - P_{nd}}{\gamma}, \quad (20)$$

где h_{im} – напор истечения, создаваемый столбом молока в молоколовушке, м.

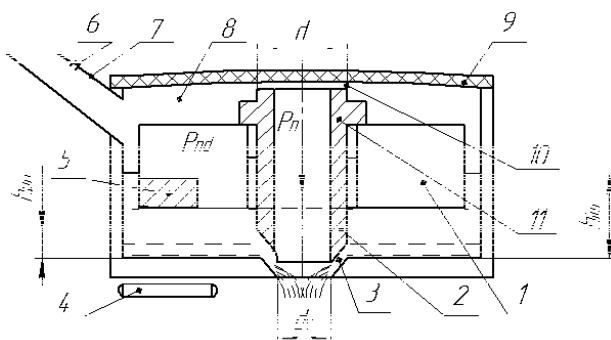


Рисунок 5 – К обоснованию параметров щели между нижним обрезом подвижного патрубка и посадочным гнездом:

1 – поплавок, 2 – подвижной патрубок; 3 – щель; 4 – геркон; 5 – магнит; 6 – калиброванный канал; 7 – патрубок; 8 – молоколовушка; 9 – мембрана; 10 – калиброванная щель; 11 – буртик

Столб молока в молоколовушке при доении коровы в номинальном режиме должен обеспечивать перемещение поплавка 1, при котором магнит 5 выходит за пределы зоны взаимодействия с герконом 4, а также учитывать погружение поплавка:

$$h_{im} = y_{mg} - y_f + \frac{4(F_p + F_m + F_{pp})}{\pi\gamma(D_p^2 - d_p^2)}. \quad (21)$$

В таком случае расход молока через меньшее отверстие посадочного гнезда в дне молоколовушки:

$$Q_{md} = \varepsilon\varphi S_{kd1} \sqrt{2g \left(h_{im} + \frac{P_{nd} - P_n}{\gamma} \right)}, \quad (22)$$

где Q_{md} – расход молока при доении в номинальном режиме, m^3/c ; S_{kd1} – площадь меньшего отверстия посадочного гнезда для истечения молока, m^2 .

Задаваясь интенсивностью потока молока Q_{md} , выводимого и соска вымени коровы, а также напором его истечения из молоколовушки в молокоприемную камеру коллектора, формируемым столбом молока в молоколовушке и перепадом давлений, мы можем определить диаметр d_v меньшего отверстия посадочного гнезда в дне молоколовушки, а, значит, и внутренний диаметр подвижного патрубка:

$$d_v = \sqrt{\frac{4Q_{md}}{\pi\varepsilon\varphi \sqrt{2g \left(h_{im} + \frac{P_{nd} - P_n}{\gamma} \right)}}}. \quad (23)$$

Через конструктивные параметры сопряжения нижний обрез подвижного патрубка – посадочное гнездо площадь щели, через которую молоко поступает к отверстию в дне молоколовушки, с учетом площади поперечного сечения выемки в подвижном патрубке, может быть представлена как:

$$S_{kd2} = \pi d_v h_{pn} + \frac{\pi d_k^2}{8}, \quad (24)$$

где S_{kd2} – площадь щели, образуемой нижним обрезом подвижного патрубка и посадочным гнездом, m^2 ; h_{pn} – высота щели, образуемой нижним обрезом подвижного патрубка и посадочным гнездом, m .

Но так как дальше молоко сливается в молокоприемную камеру коллектора через меньшее отверстие посадочного гнезда, диаметр которого равен внутреннему диаметру подвижного патрубка, то при условии:

$$S_{kd2} \leq S_{kd1}, \quad (25)$$

мы можем записать искомое математическое выражение, описывающее зависимость размера щели для истечения молока от внутреннего диаметра подвижного патрубка диаметра выемки в подвижном патрубке:

$$h_{pn} = \frac{d_v}{4} - \frac{d_k^2}{8d_v} = \frac{2d_v^2 - d_k^2}{8d_v}, \quad (26)$$

Как следует из уравнения (26) с увеличением диаметра выемки в подвижном патрубке – высота щели уменьшается.

А с учетом уравнения (23), мы можем получить аналитическое выражение, характеризующее зависимость размера щели от напора истечения и интенсивности потока выводимого из вымени молока:

$$h_{pn} = \left(\frac{Q_{md}}{\pi \varepsilon \varphi \sqrt{2g \left(h_{im} + \frac{P_{nd} - P_n}{\gamma} \right)}} - \frac{d_k^2}{8} \right) \frac{1}{\sqrt{\frac{4Q_{md}}{\pi \varepsilon \varphi \sqrt{2g \left(h_{im} + \frac{P_{nd} - P_n}{\gamma} \right)}}}}, \quad (27)$$

При этом для расчета принимают значение расхода молока Q_{md} с учетом ожидаемой продуктивности коров:

$$Q_{md} = \frac{G_{max} k_1 k_2 k_3}{1000 T_d f t_d}. \quad (28)$$

где G_{max} – максимальный удой коровы за лактацию, $л$; T_d – продолжительность лактации, $сут.$; f – кратность дойки коров, $раз/сут.$; t_d – продолжительность дойки, $с$; k_1 – коэффициент годовой неравномерности продуктивности коров; k_2 – коэффициент суточной неравномерности продуктивности коров; k_3 – коэффициент неравномерности интенсивности потока молока в процессе дойки.

В процессе доения коровы в стимулирующем режиме и накоплении молока в молоколовушке откачка воздуха из подсосковой камеры доильного стакана теперь уже осуществляется через калиброванную щель 10, образуемую верхним обрезом подвижного патрубка 2 и мембраной 9 при одновременном поступлении атмосферного воздуха в патрубок 7 через калиброванный канал 6 (Рисунок 6).

Уравнение баланса будет иметь вид:

$$\frac{\pi d_{otv}^4}{128 \mu_v l_s} (P_a - P_{st}) = \frac{\pi d_{smk}^4}{128 \mu_v l_b} (P_{st} - P_n), \quad (29)$$

где d_{smk} – приведенный диаметр калиброванной щели, m ; l_b – толщина стенки подвижного патрубка, m ,

Отсюда мы можем определить требуемый размер калиброванной щели 10:

$$h_{spm} = \frac{1}{4d_v} \sqrt{\frac{d_{otv}^4 l_b}{l_s} \left(\frac{P_a - P_{st}}{P_{st} - P_n} \right)}, \quad (30)$$

где d_v – внутренний диаметр подвижного патрубка, m ; h_{spm} – высота калиброванной щели, образуемой верхним обрезом подвижного патрубка и мембраной, m .

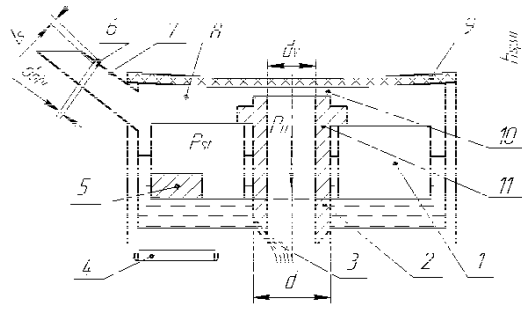


Рисунок 6 – К обоснованию параметров щели между верхним обрезом подвижного патрубка и мембраной при доении в стимулирующем режиме:
 1 – поплавков, 2 – подвижной патрубков; 3 – калиброванный канал; 4 – геркон; 5 – магнит;
 6 – калиброванное отверстие; 7 – патрубок; 8 – молоколовушка; 9 – мембрана;
 10 – калиброванная щель; 11 – буртик

По аналогии с вышеизложенным, мы можем определить требуемый размер калиброванной щели 10 при переходе в номинальный режим доения, при котором обеспечивается заданное вакуумметрическое давление P_{nd} в доильных стаканах доильного аппарата в результате увеличения вакуумметрического давления в камере управления до номинального давления P_n :

$$h_{pm} = \frac{1}{4d_v} \sqrt{\frac{d_{отв}^4 l_b}{l_s} \left(\frac{P_a - P_{nd}}{P_{nd} - P_n} \right)}, \quad (31)$$

где h_{pm} – высота калиброванной щели, образуемой верхним обрезом подвижного патрубка и мембраной, м.

А с учетом уравнения (23) уравнение (31) приобретает вид:

$$h_{pm} = \sqrt{\frac{d_{отв}^4 l_b \pi \varepsilon \varphi}{64 l_s Q_{md}} \left(\frac{P_a - P_{nd}}{P_{nd} - P_n} \right) \sqrt{2g \left(h_{im} + \frac{P_{nd} - P_n}{\gamma} \right)}}, \quad (32)$$

из которого следует, что при тех же конструктивных параметрах как с увеличением интенсивности потока молока, так и с увеличением абсолютного давления доения, размер калиброванной щели уменьшается.

Сумма высот калиброванной щели между верхним обрезом подвижного патрубка и мембраной, при которой обеспечивается заданное вакуумметрическое давление P_{nd} в доильных стаканах доильного аппарата и щели между нижним обрезом патрубка и дном молоколовушки, при которой обеспечивается задаваемая интенсивность потока истекаемого молока из молоколовушки в молокоприемную камеру коллектора определяет требуемый ход мембраны:

$$L_{mr} = \frac{1}{4d_v} \sqrt{\frac{d_{отв}^4 l_b}{l_s} \left(\frac{P_a - P_{nd}}{P_{nd} - P_n} \right)} + \frac{2d_v^2 - d_k^2}{8d_v}, \quad (33)$$

где L_{mr} – ход мембраны, м.

Ход мембраны в зависимости от интенсивности потока молока и абсолютного вакуумметрического давления описывается уравнением вида:

$$L_{mr} = \sqrt{\frac{d_{отв}^4 l_b \pi \varepsilon \varphi}{64 l_s Q_{md}} \left(\frac{P_a - P_{nd}}{P_{nd} - P_n} \right) \sqrt{2g \left(h_{im} + \frac{P_{nd} - P_n}{\gamma} \right)}} + \left(\frac{Q_{md}}{\pi \varepsilon \varphi \sqrt{2g \left(h_{im} + \frac{P_{nd} - P_n}{\gamma} \right)}} - \frac{d_k^2}{8} \right) \frac{1}{\sqrt{\frac{4Q_{md}}{\pi \varepsilon \varphi \sqrt{2g \left(h_{im} + \frac{P_{nd} - P_n}{\gamma} \right)}}}}} \quad (34)$$

С учетом оптимального расстояния от дна молоколовушки до буртика подвижного патрубка при крайнем нижнем его положении, требуемого хода мембраны, задаваясь толщиной буртика подвижного патрубка и высотой патрубка выше буртика, мы можем определить глубину молоколовушки датчика потока молока доильного аппарата:

$$H_{mol} = k_{opt} \left(\frac{4k_p(F_p + F_m + F_{pp})}{\pi\gamma(D_p^2 - d_p^2)} + k_r a_{rmin} - y_f \right) + h_{bur} +$$

$$+ \frac{1}{2} \left(\begin{aligned} & \sqrt{\frac{d_{otv}^4 l_b \pi \varepsilon \varphi}{64 l_s Q_{md}} \left(\frac{P_a - P_{nd}}{P_{nd} - P_n} \right) \sqrt{2g \left(h_{im} + \frac{P_{nd} - P_n}{\gamma} \right)} +} \\ & \left(\frac{Q_{md}}{\pi \varepsilon \varphi \sqrt{2g \left(h_{im} + \frac{P_{nd} - P_n}{\gamma} \right)}} - \frac{d_k^2}{8} \right) \frac{1}{\sqrt{\frac{4Q_{md}}{\pi \varepsilon \varphi \sqrt{2g \left(h_{im} + \frac{P_{nd} - P_n}{\gamma} \right)}}}} \end{aligned} \right) \quad (35)$$

где H_{mol} – глубина молоколовушки датчика потока молока, м; h_{bur} – толщина буртика и высота подвижного патрубка выше буртика, м; L_{mrf} – ход мембраны в крайнее нижнее и крайнее верхнее положение относительно нейтрального положения мембраны в ненагруженном состоянии, м.

Уравнение характеристики абсолютно гибкой мембраны имеет вид:

$$\omega_0 = \sqrt[3]{\frac{D_m^4 \Delta p}{4E\delta}} (1 - \mu), \quad (36)$$

где D_m – диаметр мембраны, м; E – модуль упругости материала мембраны, Н/м²; δ – толщина мембраны, м; μ – коэффициент Пуассона; Δp – перепад давления на мембране, Па; ω_0 – ход мембраны, м,

Очевидно, что требуемый ход мембраны L_{mr} не должен превышать ход мембраны ω_0 . Отсюда минимально допустимый диаметр мембраны равен:

$$D_m = \sqrt[4]{\frac{E\delta}{2\Delta p(1-\mu)} \left(\frac{\sqrt{\frac{d_{otv}^4 l_b P_n (P_a^2 - P_{nd}^2)}{l_s P_{nd} (P_{nd}^2 - P_n^2)}}}{4 \sqrt{\frac{4Q_{md}}{\varepsilon \varphi \pi \sqrt{2g \left(h_{im} + \frac{P_{nd} - P_n}{\gamma} \right)}}}} - \frac{d_k^2}{2} + \sqrt{\frac{Q_{md}}{4\varepsilon \varphi \pi \sqrt{2g \left(h_{im} + \frac{P_{nd} - P_n}{\gamma} \right)}} - \frac{d_k^2}{32}} \right)^3} \quad (37)$$

В третьей главе представлены задачи и методики экспериментальных исследований. Для имитации и исследования взаимодействия магнита и геркона нами был разработан стенд, позволяющий устанавливать расстояние магнита от геркона в момент замыкания, а также размыкания его контактов. Проведение экспериментальных исследований, при изучении расхода жидкости через калиброванный канал из молоколовушки в молокоприемную камеру коллектора, закономерности изменения вакуумметрического давления в патрубке, сообщающем молоколовушку с подсосковой камерой доильного стакана, а также стрелы прогиба мембраны, осуществляли на основе планирования факторных экспериментов с использованием разработанных нами стендов.

В четвертой главе приведены результаты экспериментальных исследований датчика потока молока почетвертного адаптивного доильного аппарата.

Было выполнено исследование взаимодействия магнита и геркона. Для этого, на основании предварительно проведенных теоретических исследований, нами были отобраны неодимовые магниты (Неодим-железо-бор (NdFeB)) размером 2×2×2, 4×4×4 и 6×6×6 мм и герконы КЭМ-2 группы Б (МДС срабатывания 21-42 А). По результатам обработки данных исследований в программе Excel нами получены эмпирические уравнения, характеризующие зависимость расстояния между магнитом и герконом в момент замыкания контактов:

$$y_1 = 0,3266x^2 + 1,8862x - 1,4516, \quad (38)$$

где y_1 – расстояние между герконом и магнитом в момент замыкания контактов геркона, мм; x – размер стороны равностороннего магнита, мм, а также размыкания контактов:

$$y_2 = 0,4179x^2 + 3,1761x - 2,672, \quad (39)$$

где y_2 – расстояние между герконом и магнитом в момент размыкания контактов геркона, мм.

Как свидетельствует анализ расчетов, выполненных по уравнению (38) и (4), значение расстояния между магнитом и герконом в момент замыкания контактов геркона при их сближении, полученное экспериментально, превышает этот параметр на 0,37...1,6%, полученный расчетным путем, а при размыкании – наоборот, в интервале 2,76...4,60%. Графическая интерпретация эмпирических уравнений регрессии (38) и (39), а также теоретических исследований приведена на рисунке 7.

Этим подтверждается возможность использования для расчета магнитодвижущей силы магнита уравнения (4), и на ее основе устанавливать допустимое удаление магнита от геркона. Так при использовании вышеобозначенных геркона и магнита, при замыкании максимально допустимое удаление магнита от геркона составляет 11,2 мм, а в момент размыкания – удаление магнита от геркона должно составлять не менее 17,12 мм.

Обработка данных, полученных в результате выполнения двухфакторного эксперимента, позволила получить эмпирическое уравнение, представляющее характер зависимости интенсивности потока истекающей через калиброванный канал жидкости от напора истечения и диаметра выемки в подвижном патрубке:

$$Q_k = 0.017169109 - 0.051079512d_k + 0.00045335342P_{ds} + 0.00680889868P_{ds}d_k + 0,02906606d_k^2 - 0.00021930479P_{ds}^2, \quad (40)$$

где Q_k – интенсивность потока истекающей через калиброванный канал жидкости, л/мин.; P_{ds} – перепад давлений между молоколовушкой и молокоприемной камерой коллектора в стимулирующем режиме доения, кПа.

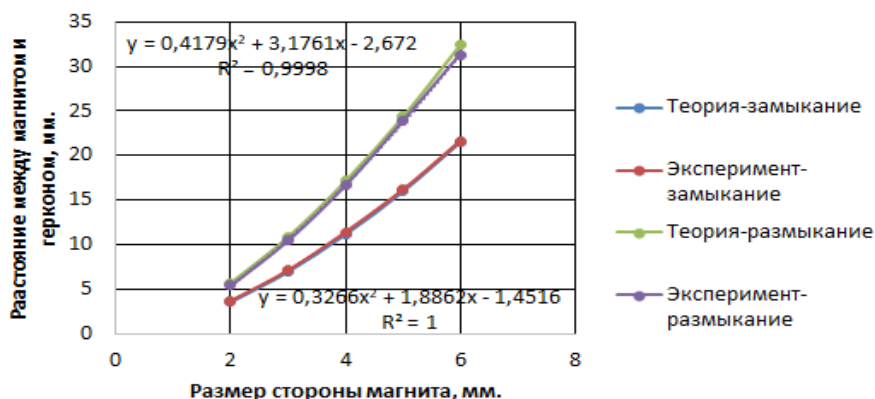


Рисунок 7 – Характеристика зависимости расстояния между магнитом и герконом в момент замыкания-размыкания контактов геркона

Графическая интерпретация данной зависимости приведена на рисунке 8.

Оценкой результатов расчетов по теоретическому уравнению (17) и эмпирическому уравнению (40) по F – критерию Фишера доказана их адекватность. Поэтому мы можем сказать, что для обеспечения интенсивности потока истечения жидкости из молоколовушки коллектора 50,0...60,0 мл/мин при перепаде давлений в молоколовушке и молокоприемной камере коллектора $15,0 \pm 0,1$ кПа, диаметр выемки в подвижном патрубке, образующей калиброванный канал, должен быть равен $1,0 \pm 0,1$ мм.

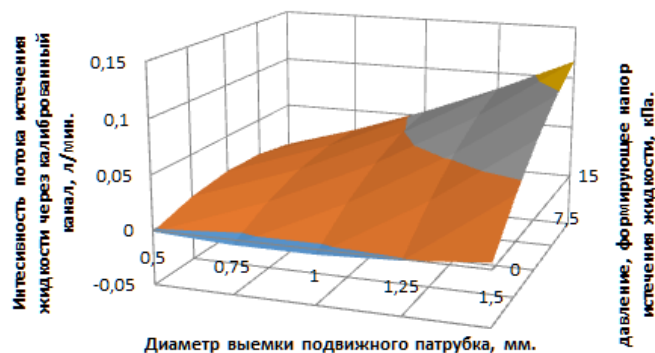


Рисунок 8 – Характеристика зависимости интенсивности потока истекающей через калиброванный канал жидкости от напора истечения и диаметра выемки в подвижном патрубке

Эмпирическое уравнение, представляющее зависимость интенсивности потока истекающей через щель жидкости от напора истечения и высоты щели при принятом нами внутреннем диаметре подвижного патрубка и диаметре меньшего отверстия конического посадочного гнезда в дне молоколовушки $8,0 \pm 0,1$ мм, имеет вид:

$$Q_n = -0.05938 + 0.64026h_{pn1} + 0.14172P_{dn1} + 0.27824P_{dn1}h_{pn1} + 0.0017h_{pn1}^2 - 0.02832P_{dn1}^2, \quad (41)$$

где Q_n – интенсивность потока истекающей через щель жидкости, л/мин.; P_{dn1} – перепад давлений между молоколовушкой и молокоприемной камерой коллектора в номинальном режиме доения, кПа; h_{pn1} – высота щели, мм.

Графическая интерпретация данной зависимости приведена на рисунке 9. Установлено, что для обеспечения интенсивности потока истечения жидкости из молоколовушки $2,0 \pm 0,1$ л/мин при перепаде давлений в молоколовушке и молокоприемной камере коллектора $1,25 \pm 0,1$ кПа и внутреннем диаметре подвижного патрубка, а также диаметре меньшего отверстия конического посадочного гнезда в дне молоколовушки $8,0 \pm 0,1$ мм, высота щели, образуемой нижним обрезом подвижного патрубка и коническим посадочным гнездом, должна быть равной $1,94 \pm 0,1$ мм.

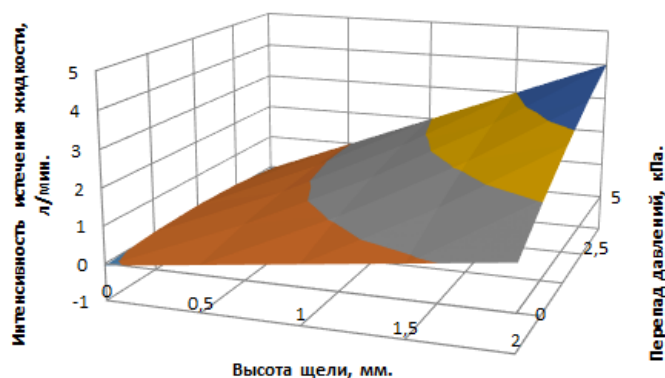


Рисунок 9 – Характеристика зависимости интенсивности потока истекающей через щель жидкости от напора истечения и высоты щели

Характер зависимости вакуумметрического давления в патрубке, а равно в молоколовушке и в подсосковой камере доильного стакана, от диаметра выемки в исследуемом стержне и диаметра калиброванного отверстия жиклера имеет вид:

$$P_{exp} = 56,6659175 - 49,8930625d_k + 132,690725d_{otv} - 75,465625d_k d_{otv} + 29,1051875d_k^2 - 4,87925d_{otv}^2, \quad (42)$$

где P_{exp} – абсолютное давление в патрубке, кПа; d_k – диаметр выемки в стержне, мм; d_{otv} – диаметр калиброванного отверстия жиклера, мм.

Графическая интерпретация данной зависимости приведена на рисунке 10.

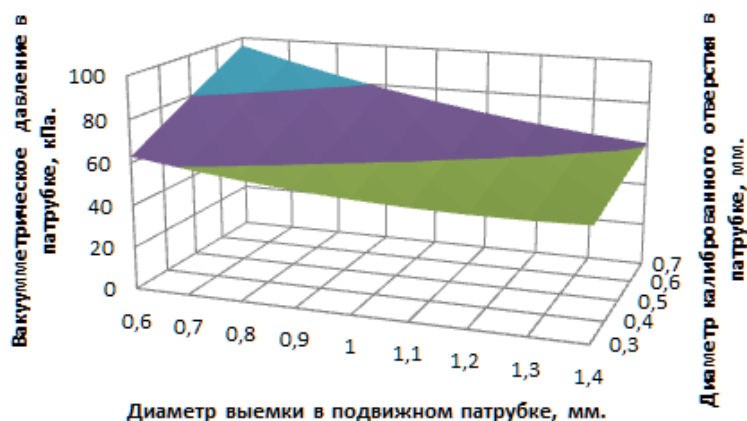


Рисунок 10 – Характеристика зависимости абсолютного давления в патрубке от диаметра выемки в стержне и диаметра калиброванного отверстия жиклера

Установлено, что для обеспечения вакуумметрического давления в патрубке, а равно в молоколовушке и в подсосковой камере доильного стакана, равного $33,0 \pm 0,1$ кПа, в стимулирующем режиме доения, при диаметре выемки в подвижном патрубке $1,0 \pm 0,1$ мм и номинальном вакуумметрическом давлении в молокоприемной камере коллектора $48,0 \pm 0,1$ кПа, диаметр калиброванного отверстия жиклера должен быть не менее $0,58 \pm 0,01$ мм.

При изучении закономерности изменения стрелы прогиба мембраны под действием одностороннего давления рабочей средой получено эмпирическое уравнение, выражающее зависимость стрелы прогиба мембраны от ее диаметра, толщины, а также перепада давления на ней:

$$\omega = -5,15472 + 0,118713D_m + 2,63638\delta + 0,362542\Delta p + 0,0329D_m\Delta p + 0,04\delta\Delta p - 0,0042D_m\delta\Delta p - 0,0014255D_m^2 - 0,5702\delta^2 - 0,1430352\Delta p^2, \quad (43)$$

где ω – стрела прогиба мембраны, мм; D_m – диаметр мембраны, мм; δ – толщина мембраны, мм; Δp – давление, кПа.

Поверхности отклика по данному эксперименту можно представить, зафиксировав на нулевом уровне один из трех факторов. Как пример, при $\delta = 2,0$ мм уравнение регрессии (43) приобретает вид:

$$\omega = -2,16276 + 0,118713D_m + 0,442542\Delta p + 0,0245D_m\Delta p - 0,0014255D_m^2 - 0,1430352\Delta p^2. \quad (44)$$

Поверхность отклика данного уравнения регрессии и ее сечение приведено на рисунке 11. Как свидетельствует анализ математических моделей деформации мембраны, описываемых уравнениями (33) и (34), а также эмпирического уравнения (43), стрела прогиба мембраны, равная $0,97 \pm 0,1$ мм, может быть достигнута при диаметре мембраны $48,0 \pm 0,1$ мм, ее толщине – $2,0 \pm 0,1$ мм и одностороннем давлении на мембрану $0,46 \pm 0,1$ кПа.

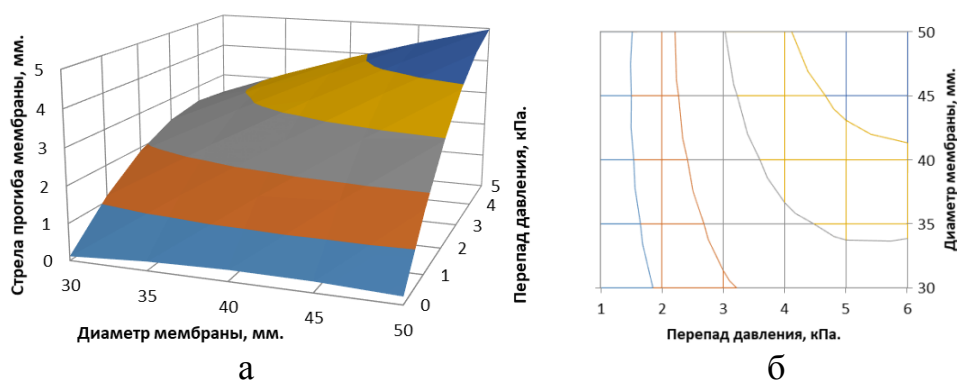


Рисунок 11 – Поверхность отклика (а) и ее сечение (б) варьирования диаметра мембраны и перепада давления на мембране

В пятой главе «Хозяйственные испытания почетвертного адаптивного доильного аппарата» приведены результаты сравнительных испытаний адаптивного доильного аппарата, которые выполняли в хозяйствах Белгородской области на коровах с продуктивностью свыше 6000 кг молока, целью которых было установление эффективности внесенных изменений в конструкцию экспериментального почетвертного адаптивного доильного аппарата, степень влияния на молочную продуктивность коров, степень выдоенности и заболеваемость вымени маститом (Рисунок 12).



Рисунок 12 – Общий вид доильного аппарата с почетвертной адаптацией режима доения

По завершению эксперимента, – 90 дней лактации, – коровы, которых доили опытными образцами доильных аппаратов, имели молочную продуктивность выше, чем животные в группе контроля на 3,58%.

Годовой экономический эффект почетвертного адаптивного доильного аппарата с учетом приведенных затрат, полноты выдаивания и предотвращения заболеваемости вымени коров маститом, в расчете на 20 голов, составляет 138219,07 рубля, а на одну голову – 6910,95 рубля.

Внедрение доильных аппаратов в крестьянском (фермерском) хозяйстве Карташова Ф.И., в крестьянском (фермерском) хозяйстве Калашника Р.Н. и в ООО «Молочные эко-фермы» (Белгородская область), позволило получить экономический эффект свыше 250,0 тысяч рублей в год.

Работа выполнялась при поддержке программы «УМНИК» Фонда содействия инновациям по направлению «Новые приборы и интеллектуальные производственные технологии». Принимала участие в XXII Международном конкурсе научно-исследовательских работ PTSCIENCE 16 сентября 2020 года. Разработка

«Моделирование рабочего процесса поплавковых датчиков потока молока переносного адаптивного манипулятора доения коров» отмечена дипломом второй степени Всероссийского общества научных разработок «ОНР ПТСАЙНС», г. Москва. Проект «Разработка адаптивного доильного аппарата с использованием почетвертного управляемого режима доения» отмечена дипломом участника ярмарки проектов StartUp:Land Agro & food tech.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Анализ технологий машинного доения коров и известных конструкций доильного оборудования позволил установить, что для доения коров при привязном их содержании целесообразно использовать почетвертной адаптивный доильный аппарат, обладающий возможностью подольного управления вакуумным режимом доения на основе применения поплавковых датчиков потока молока с магнитами и герконами.

2. Теоретически установлено и экспериментально подтверждено, что при весе поплавок 0,11 Н, весе магнита 0,02 Н и весе подвижного патрубка 0,02 Н, наружном и внутреннем диаметре поплавок соответственно 0,043 и 0,013 м, и использовании неодимового магнита (Неодим-железо-бор (NdFeB)) размером 4×4×4 мм и геркона КЭМ-2 группы Б типа SPST-NO (*Single Pole, Single Throw Normally Open*), минимально допустимое расстояние от дна молоколовушки до буртика подвижного патрубка при крайнем нижнем его положении, равно 25,6 мм, может быть при удалении геркона в противоположном направлении от направления всплытия поплавок – 11,20 мм.

3. Доказано, что при варьировании угла отклонения образующих посадочного гнезда и взаимодействующей с ним части подвижного патрубка от оси симметрии в пределах от 50 до 25° (0,436...0,784 рад), для обеспечения интенсивности потока истечения жидкости из молоколовушки датчика потока молока 50,0...60,0 мл/мин, при перепаде давлений в молоколовушке и молокоприемной камере коллектора 15,0±0,1 кПа, диаметр выемки в подвижном патрубке, образующей калиброванный канал, должен быть равен 1,0±0,1 мм.

4. Выявлено, что для обеспечения вакуумметрического давления в патрубке, а равно в молоколовушке и в подсосковой камере доильного стакана, равно 33,0±0,1 кПа, в стимулирующем режиме доения, при диаметре выемки в подвижном патрубке 1,0±0,1 мм и номинальном вакуумметрическом давлении в молокоприемной камере коллектора 48,0±0,1 кПа, при толщине стенки патрубка 1,0±0,1 мм, диаметр калиброванного отверстия жиклера должен быть не менее 0,58±0,01 мм.

5. Установлено, что при увеличении интенсивности истечения молока из молоколовушки в молокоприемную камеру коллектора до 2000,0 мл/мин, при сохранении в молокоприемной камере коллектора абсолютного давления 52,0 кПа, внутренний диаметр подвижного патрубка должен быть не менее 7,00±0,1 мм.

6. Доказано, что для обеспечения интенсивности потока истечения жидкости из молоколовушки коллектора 2,0±0,1 л/мин., при перепаде давлений в молоколовушке и молокоприемной камере коллектора 1,25±0,1 кПа и внутреннем диаметре подвижного патрубка, а также диаметре меньшего отверстия конического посадочного гнезда в дне молоколовушки 8,0±0,1 мм, высота щели, образуемой нижним обрезом подвижного патрубка и коническим посадочным гнездом, должна быть равной 1,94±0,1 мм.

7. Установлена математическая зависимость высоты щели между верхним обрезом подвижного патрубка и мембраной от параметров калиброванного канала в патрубке для подсоса атмосферного воздуха, подвижного патрубка и перепада давлений. При диаметре отверстия в патрубке для подсоса атмосферного воздуха, равном 0,49 мм, толщине стенки патрубка – 1,0 мм, толщине стенки подвижного патрубка, равном 2,0 мм, внутреннем диаметре подвижного патрубка 8,0 мм и абсолютном давлении доения 53,0 кПа, размер калиброванной щели равен 0,07 мм.

8. Из вышеизложенных теоретически и экспериментально обоснованных конструктивных параметров элементов конструкции датчика потока молока следует, что минимально допустимая глубина молоколовушки должна быть не менее 31,54 мм.

9. Как свидетельствует анализ математических моделей деформации мембраны, стрела прогиба мембраны, равная $0,97 \pm 0,1$ мм, при ее толщине – $2,0 \pm 0,1$ мм и одностороннем давлении на мембрану $0,46 \pm 0,1$ кПа, может быть достигнута при диаметре мембраны $48,0 \pm 0,1$ мм.

10. Хозяйственными испытаниями установлено, что коровы, которых доили опытными образцами доильных аппаратов, имели молочную продуктивность выше, чем животные в группе контроля на 3,58%. При этом вероятность заболевания коров маститом снизилась на 11,1%.

11. Внедряемый адаптивный доильный аппарат весьма эффективен. Его годовой экономический эффект с учетом приведенных затрат и роста молочной продуктивности коров, в расчете на 20 голов, составляет 138219,07 рублей. В расчете на одну корову эта сумма составляет 6910,95 рублей. Внедрение доильных аппаратов в крестьянском (фермерском) хозяйстве Карташова Ф.И., в крестьянском (фермерском) хозяйстве Калашника Р.Н. и в ООО «Молочные эко-фермы» (Белгородская область), позволило получить экономический эффект свыше 250,0 тысяч рублей в год.

Рекомендации производству. Разработанный почетвертной адаптивный доильный аппарат, управляемый поплавковыми датчиками потока молока, рекомендуется к использованию для доения коров при привязном содержании.

Перспективы дальнейшей разработки темы. Целесообразно продолжить исследования по разработке и обоснованию конструктивно-режимных параметров механизма дооя, отключения и снятия почетвертного адаптивного доильного аппарата с вымени коровы.

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ ДИССЕРТАЦИИ ОПУБЛИКОВАНЫ В СЛЕДУЮЩИХ РАБОТАХ

Статьи в ведущих рецензируемых изданиях, рекомендованных ВАК России

1. Кузьмина, О.С. К обоснованию параметров молоколовушки переносного манипулятора доения коров с почетвертным управлением режимом доения / В.Ф. Ужик, О.С. Кузьмина, О.В. Китаёва, А.И. Тетерядченко // Инновации в АПК: проблемы и перспективы. – 2019. – № 4 (24). – С. 89-108.

2. Кузьмина, О.С. К обоснованию параметров молоколовушки манипулятора для доения коров / В.Ф. Ужик, О.С. Кузьмина, О.В. Китаёва, А.И. Тетерядченко // Техника и оборудование для села. – 2020. – № 1 (271). – С. 28-35.

3. Кузьмина, О.С. Моделирование рабочего процесса поплавковых датчиков потока молока переносного адаптивного манипулятора доения коров / В.Ф. Ужик, О.С. Кузьмина, О.В. Китаёва, Китаёв Ю.А. / Вестник Воронежского государственного аграрного университета. – 2020. – № 2 (65). – С. 55-64.

Патенты

1. Переносной манипулятор для доения коров: пат. РФ № 2695868 Рос. Федерация: / Ужик В.Ф., Кузьмина О.С., Китаёва О.В. № 2018139401; заявл. 06.11.2018; опубл. 29.07.2019, Бюл. № 22.

2. Стенд для имитации работы и испытания датчика потока молока доильного аппарата: пат. РФ № 2727358 Рос. Федерация: / Ужик В.Ф., Кузьмина О.С., Китаёва О.В., Тетерядченко А.И., Прокофьев В.В. № 2019133741; заявл. 22.10.2019; опубл. 21.07.2020, Бюл. № 21.

3. Доильный аппарат: пат. на полезную модель РФ № 202513 Рос. Федерация: / Кузьмина О.С., Ужик В.Ф., Китаёва О.В., Тетерядченко А.И., Китаёв Ю.А. № 2020134689; заявл. 21.10.2020; опубл. 20.02.2021, Бюл. № 5.

4. Стенд для имитации и исследования взаимодействия магнита и геркона датчика потока молока доильного аппарата: пат. на полезную модель РФ № 202514 Рос. Федерация / Кузьмина О.С., Ужик В.Ф., Китаёва О.В., Тетерядченко А.И., Китаёв Ю.А. № 2020136655; заявл. 06.11.2020; опубл. 20.02.2021, Бюл. № 5.

5. Стенд для измерения стрелы прогиба мембраны под действием одностороннего давления рабочей средой: пат. на полезную модель РФ № 205593 Рос. Федерация / Кузьмина О.С., Ужик В.Ф., Китаёва О.В., Тетерядченко А.И., Китаёв Ю.А. № 2021100679; заявл. 13.01.2021; опубл. 22.07.2021, Бюл. № 21.

Публикации в журналах, сборниках научных трудов и материалах конференций

1. Переносной манипулятор для доения коров / В.Ф. Ужик, О.С. Кузьмина, О.В. Китаёва // Материалы Национальной научно-практической конференции "Актуальные проблемы разработки, эксплуатации и технического сервиса машин в агропромышленном комплексе", посвященной 40-летию Белгородского ГАУ. – 2019. – С. 204-211.

2. Переносной манипулятор с управляемым режимом доения по долям вымени коровы / В.Ф. Ужик, О.С. Кузьмина, О.В. Китаёва // Материалы XXIII международной научно-производственной конференции «Инновационные решения в аграрной науке – взгляд в будущее», 28-29 мая 2019 г. в 2 т. Том 1. – п. Майский: Издательство ФГБОУ ВО Белгородский ГАУ. – С. 149-150.

3. Адаптивный доильный аппарат с доением в бидон / В.Ф. Ужик, А.И. Тетерядченко, О.В. Китаёва, О.С. Кузьмина // Материалы XXIII международной научно-производственной конференции «Инновационные решения в аграрной науке – взгляд в будущее», 28-29 мая 2019 г. в 2 т. Том 1. – п. Майский: Издательство ФГБОУ ВО Белгородский ГАУ. – С. 151-152.

4. Кузьмина, О.С. Переносной манипулятор с почетвертным управляемым режимом доения коров / В.Ф. Ужик, О.С. Кузьмина, О.В. Китаёва, С.И. Некипелов // Вестник Всероссийского научно-исследовательского института механизации животноводства. – 2019. – № 4 (36). – С. 51-56.

5. Обоснование параметров поплавка датчика потока молока переносного манипулятора для доения коров / В.Ф. Ужик, О.С. Кузьмина, О.В. Китаёва // Материалы Национальной (всероссийской) научно-практической конференции с международным участием «Агроинженерия в XXI веке: проблемы и перспективы» посвященной 30-летию инженерного факультета им. А.Ф. Пономарева. – п. Майский: Издательство ФГБОУ ВО Белгородский ГАУ, 2020 г. – С. 232-237.

6. К обоснованию глубины молоколовушки датчика потока молока доильного аппарата с подольным управляемым режимом доения коровы / В.Ф. Ужик, О.С. Кузьмина, О.В. Китаёва, А.И. Тетерядченко // Материалы XXIV Международной научно-производственной конференции «Инновационные решения в аграрной науке – взгляд в будущее», 27-28 мая 2020 г. в 2 т. Том 1. – п. Майский: Издательство ФГБОУ ВО Белгородский ГАУ. – С. 79-81.

7. Полуавтомат для доения коров на линейных доильных установках / В.Ф. Ужик, О.С. Кузьмина, О.В. Китаёва, Ю.А. Китаёв // Материалы Межвузовского научного конгресса, 28 мая 2020 г. Том 2. – М.: Издательство Инфинити. – С. 126-137.

8. Методика экспериментальных исследований взаимодействия магнита и геркона / В.Ф. Ужик, О.С. Кузьмина, О.В. Китаёва, А.И. Тетерядченко // Материалы Национальной научно-практической конференции «Инновационные решения в агроинженерии в XXI веке». Решения проблем взаимодействия науки и бизнеса. – п. Майский: Издательство ФГБОУ ВО Белгородский ГАУ, 2021. С.171-175.

9. Кузьмина О.С. К обоснованию перемещения поплавка датчика потока молока доильного аппарата с подольным управлением вакуумным режимом доения коров / В.Ф. Ужик, О.С. Кузьмина, О.В. Китаёва, А.И. Тетерядченко // Техника и технологии в животноводстве. – 2020. – № 2 (38). – С. 14-18.

Отпечатано в издательско-полиграфическом центре
ФГБОУ ВО Мичуринский ГАУ
Подписано в печать 07.09.2021. Формат 60x84/16,
Бумага офсетная № 1. Усл.печ.л. 1,3. Тираж 100 экз. Ризограф
Заказ № 20639

Издательско-полиграфический центр
ФГБОУ ВО Мичуринский ГАУ
393760, Тамбовская обл., г. Мичуринск, ул. Интернациональная, 101
тел. +7 (47545) 3-88-34, доб. 211

