

На правах рукописи



Бородин Сергей Алексеевич

**ОБОСНОВАНИЕ КОНСТРУКТИВНО-РЕЖИМНЫХ ПАРАМЕТРОВ
МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНОГО СТИМУЛИРУЮЩЕГО ДОИЛЬНОГО
АППАРАТА**

05.20.01 – Технологии и средства механизации сельского хозяйства

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Воронеж – 2018

Работа выполнена на кафедре технологического оборудования, процессов перерабатывающих производств, механизации сельского хозяйства и безопасности жизнедеятельности федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I» (ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ).

Научный руководитель	доктор сельскохозяйственных наук Андрианов Евгений Александрович
Официальные оппоненты:	Ульянов Вячеслав Михайлович , доктор технических наук, профессор, ФГБОУ ВО «Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева», заведующий кафедрой «Технические системы в АПК»;
	Китаева Оксана Владимировна , доктор технических наук, доцент, ФГБОУ ВО «Белгородский государственный аграрный университет имени В.Я. Горина», доцент кафедры электрооборудования и электротехнологий в АПК
Ведущая организация	Азово-Черноморский инженерный институт – филиал ФГБОУ ВО «Донской государственный аграрный университет» в г. Зернограде (Азово - Черноморский инженерный институт ФГБОУ ВО Донской ГАУ)

Защита состоится 27 декабря 2018 г. в 10 часов 00 минут на заседании диссертационного совета Д 220.010.04 на базе ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ по адресу: 394087, г. Воронеж, ул. Тимирязева, д. 13, учебный корпус агроинженерного факультета (корпус № 3), аудитория 319.

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

Автореферат разослан 30 октября 2018 г.

Ученый секретарь

диссертационного совета



Афоничев Дмитрий Николаевич

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. В настоящее время наряду с строительством крупных молочных комплексов, где доильные установки комплектуются элементами автоматики, позволяющими управлять режимом доения, параллельно развиваются фермерские хозяйства при привязном содержании коров небольшими группами, где целесообразно использование многофункциональных доильных аппаратов, позволяющих осуществлять ряд важнейших технологических операций: раздой новотельных коров в родильном отделении и доение основного стада. Однако анализ существующих переносных доильных аппаратов показал, что до нынешнего времени промышленностью не освоен выпуск многофункционального доильного оборудования, обладающего полным спектром варьирующих параметров режима доения, при доении в ведро.

В связи с этим, научная актуальность исследования заключается в необходимости разработки конструкции доильного аппарата, обеспечивающего повышение адаптивности и функциональности доения коров небольшими группами при их привязном содержании.

Диссертация выполнена в рамках научно-исследовательской работы агроинженерного факультета «Инновационные направления совершенствования процессов и технических средств механизации и электрификации сельскохозяйственного производства», утвержденной ученым советом ВГАУ (№ 01.200.1-003986).

Степень разработанности темы. Анализ способов и средств доения, изложенных в работах 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 Л.П., Келписа Э.А., Кирсанова В.В., Кокориной 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., Скоркиной С.А., Ужика В.Ф., Ужик О.В., Ульянова В.М., Утолина В.В., Хрипина В.А., Цоя Ю.А., Чехунова О.В., Шахова В.А., Щукина С.И. и других авторов, показал, что вопрос безопасного молоковыведения требует дальнейшего изучения и исследования.

Проведенный анализ литературных и патентных источников показал следующее: для более полного извлечения молока из вымени необходимо использование конструкции многофункционального доильного аппарата, обеспечивающего выполнение различных технологических операций, связанных с машинным доением коров, и позволяющего осуществить одновременно щадящий и стимулирующий стиль доения в начальный и заключительный периоды.

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

Задачи исследований:

- разработать конструктивно-технологическую схему многофункционального стимулирующего доильного аппарата;
- обосновать режимные параметры многофункционального стимулирующего доильного аппарата и определить физиологические параметры воздействия разрабатываемого аппарата на молочную железу в различных режимах доения;
- обосновать конструктивно-технологические параметры переключающего

устройства блока управления режимом доения и устройства переключения магнитного клапана блока управления уровнем вакуума;

- произвести производственные испытания разработанного многофункционального стимулирующего доильного аппарата, определить экономическую эффективность его применения.

Объектом исследования является рабочий процесс многофункционального стимулирующего доильного аппарата.

Предметом исследования являются закономерности изменения технологических показателей многофункционального стимулирующего доильного аппарата от его конструктивно-технологических параметров.

Научная новизна:

- конструктивно-технологическая схема многофункционального стимулирующего доильного аппарата, отличающаяся усовершенствованными конструкциями механизма управления режимом доения, устройства переключения магнитного клапана и вибропульсатора;

- аналитические зависимости по определению интенсивности выведения молока от времени доения, а также параметров и режимов работы многофункционального стимулирующего доильного аппарата, отличающиеся учетом особенностей предлагаемого технического решения составляющих доильного аппарата;

- результаты лабораторных исследований и производственных испытаний многофункционального стимулирующего доильного аппарата, отличающиеся тем, что определены для варианта конструкции разрабатываемого доильного аппарата.

Техническая новизна доильного аппарата подтверждена патентом РФ на изобретение №2613499 и на полезную модель №172455.

Теоретическая и практическая значимость работы. Теоретические зависимости для определения параметров многофункционального стимулирующего доильного аппарата, подтвержденные экспериментальными исследованиями и производственными испытаниями, позволяют расширить знания в теории машинного доения коров.

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

Результаты диссертационных исследований могут быть использованы при разработке новых конструкций доильных аппаратов и полезны для сельскохозяйственного производства и учебных заведений.

Методология и методы исследования. Теоретические исследования базировались на известных законах математики, теоретической механики и др. наук. Для получения расчетных зависимостей использовался метод математического моделирования на основе дифференциального и интегрального исчисления, позволяющий установить параметры и режимы работы многофункционального стимулирующего доильного аппарата. Исследования проводились на основе известных и частных методик с использованием теории планирования эксперимента, современных приборов и ЭВМ, специально разработанных установок, а также компьютерного моделирования в Компас-3D. Обработка экспериментальных данных осуществлялась на основе математического моделирования

и статистики с применением современного программного обеспечения: Maple, Statistica, Microsoft Excell.

Положения, выносимые на защиту:

- конструктивно-технологическая схема многофункционального стимулирующего доильного аппарата, позволяющая повысить функциональность и адаптивность доения;
- аналитические зависимости, позволяющие определить интенсивность выведения молока от времени доения, а также параметры и режимы работы многофункционального стимулирующего доильного аппарата;
- результаты лабораторных исследований, позволяющие установить параметры и режимы работы многофункционального стимулирующего доильного аппарата;
- результаты производственных испытаний разработанного доильного аппарата, позволяющие экономически обосновать эффективность предложенных технических решений.

Степень достоверности и апробации результатов. Достоверность результатов диссертационной работы подтверждена: численной реализацией аналитических зависимостей, использованием апробированных методов исследования, удовлетворительной сходимостью результатов теоретических и экспериментальных исследований, патентными исследованиями, результатами внедрения в производство.

Материалы исследований были доложены и обсуждены: на научных конференциях Воронежского ГАУ (2015-2018 г.); на международных научно-производственных конференциях: «Агропромышленный комплекс на рубеже веков» (г. Воронеж, 2015 г.); «Инновационные направления развития технологий и технических средств механизации сельского хозяйства» (г. Воронеж, 2015 г.); «Наука и образование в современных условиях» (г. Воронеж, 2016 г.); «Современные научно-практические решения XXI века» (г. Воронеж, 2016 г.); «Актуальные проблемы аграрной науки, производства и образования» (г. Воронеж, 2016 г.), «Роль аграрной науки в развитии АПК РФ» (г. Воронеж, 2017 г.), «Биотехнологии и инновации в агробизнесе» (г. Белгород, 2018г.).

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

Публикации. По теме диссертации опубликовано 13 работ, в том числе 1 в изданиях, входящих в международную базу Scopus, 4 в изданиях, рекомендованных ВАК Минобрнауки России, 2 в описаниях к патентам, 6 в материалах международных конференций.

Структура и объем диссертационной работы. Диссертационная работа включает введение, пять глав, заключение, список использованных источников (142 наименований) и приложения. Общий объем работы составляет 198 страниц, содержит 55 рисунков, 23 таблицы, 15 приложений.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

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

В первой главе «Состояние вопроса, цель и задачи исследования» дан обзор исследований механизации средств машинного доения стимулирующего действия и их влияние на процесс молоковыведения, а также выполнен анализ результатов исследований в этом направлении. Анализ научных работ показывает, что процесс машинного доения требует дальнейшего совершенствования и конструкции доильных аппаратов, используемых для доения коров в переносное ведро небольшими группами при их привязном содержании, имеют недостатки: требуют проведения подготовительных и заключительных операций, выполняемых, как правило, вручную; работают при высоком вакууме и не обладают полным спектром варьирующих параметров режима доения, что зачастую способствует возникновению мастита у коров и снижению их продуктивности.

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

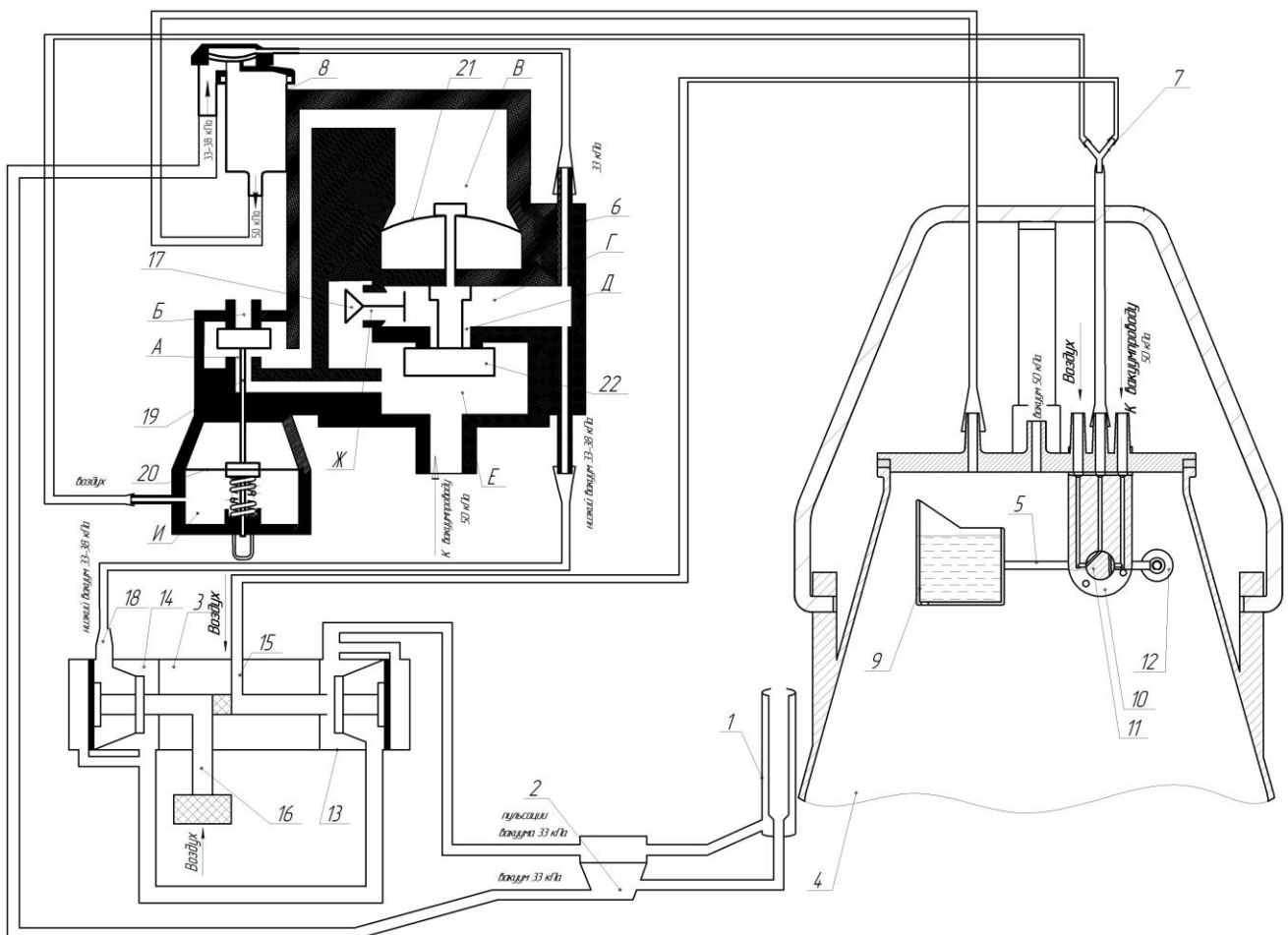
Во второй главе «Теоретическое обоснование конструктивно-режимных параметров многофункционального стимулирующего доильного аппарата» предложена конструктивно-технологическая схема разрабатываемого доильного аппарата (патент РФ № 172455), позволяющая в начале и в конце доения для возбуждения полноценного рефлекса молокоотдачи осуществлять массаж вымени путем микроколебаний стенок сосковой резины и одновременно адекватно физиологии животного воздействовать на соски вымени низким вакуумом 33-38 кПа (рис. 1).

Для реализации функции, имитирующей массаж, предложено использование в доильном аппарате модернизированного вибропульсатора с отключаемым высокочастотным блоком (патент РФ № 2442319), имеющего дополнительный управляющий патрубок и обеспечивающего в начале и конце доения во время такта сосания подачу импульсов переменного давления (вакуум-атмосфера) в межстенные камеры доильных стаканов вымени.

Механизм управления отключения и включения высокочастотного блока вибропульсатора установлен в крышке доильного ведра, который должен обеспечивать переключение режимов работы при превышении (снижении) определенного значения отдачи молока.

Доильный аппарат работает следующим образом. В начале доения за счет массы грузового элемента 12 молоколовушка 9 занимает верхнее положение.

При этом атмосферное давление через канал распределительного вала 11, распределитель 7 распространяется в камеру *И* переменного давления блока управления уровнем вакуума 6. Клапан 17 дросселируя отверстие *Ж*, соединяющее полости *Е* и *Г*, позволяет установить в полости *Г* постоянный вакуум 33-38 кПа. Такой же уровень вакуума через патрубок 18 устанавливается в пульсаторе 3, молокосборнике 4 и коллекторе 2. В то же время атмосферное давление через канал распределительного вала 11, распределитель 7 распространяется в камеру переменного давления 15 высокочастотного блока 13 вибропульсатора 3.



1 - доильные стаканы; 2 - коллектор; 3 -вибропульсатор; 4 - молокосорник; 5 -блок управления режимом доения; 6 - блок управления уровнем вакуума; 7 - распределитель; 8 - приемник; 9 - молоколовушка; 10 - камера управления; 11 - распределительный вал; 12 - грузовой элемент; 13 - низкочастотный блок; 14 - высокочастотный блок; 15, 16 - камеры переменного давления; 17 - дроссельный клапан; 18 - патрубок постоянного вакуума; 19 - клапан; 20 - мембрана; 21 - мембрана; 22 - управляющий клапан

Рисунок 1 - Схема доильного аппарата

Также атмосферное давление поступает в камеру переменного давления 16 низкочастотного блока 14. Это обеспечит совместную последовательную работу блока 14 и блока 13 вибропульсатора 3, позволяющую выводить молоко при низком уровне вакуума 33-38 кПа с микроколебаниями сосковых трубок, что приведет к более полному выдаиванию за счет поддержания рефлекс молокаотдачи, а также предотвратит наполнение доильных стаканов за счет полусжатого состояния сосковых трубок и позволит адекватно воздействовать на молочную железу в то время, пока молокоотдача не достигнет максимального значения. По мере повышения интенсивности молоковыведения молоко из доильных стаканов 1 через коллектор 2 поступает в молоколовушку 9 до полного ее заполнения. Вакуумметрическое давление через канал распределительного вала 11, распределитель 7 соответственно распространяется в камеру *И* переменного давления блока управления уровнем вакуума 6. За счет воздействия силы вакуума на мембрану 20 клапан 19, преодолевая сопротивление пружины устанавливается в крайнем нижнем положении и закрывает отверстие *Б*, соединяющее атмосферу с внутрен-

ними полостями блока управления режимом вакуума 6. При этом вакуумметрическое давление в полости Γ выравнивается с давлением в полости E и принимает значение 50 кПа. Такой же уровень вакуума устанавливается через большой патрубок 18 блока 14 в пульсаторе 3, молокосорборнике 4 и коллекторе 2. В то же время вакуумметрическое давление через канал распределительного вала, распределитель 7, распространяется в камеру переменного давления блока 13 вибропульсатора 3. Блок 13 приостановит свою работу, что позволит доильному аппарату работать в обычном двухтактном режиме доения при вакууме 50 кПа с максимальной пропускной способностью.

Кроме того, конструкция многофункционального стимулирующего доильного аппарата (МСДА), позволяет реализовывать и другие режимы работы при фиксации молоколовушки в верхнем положении, обеспечивая низковакуумный щадящий режим доения с одновременным стимулирующим эффектом.

Для разработки и проектирования механизма управления режимом доения, необходимо знать момент t (с) времени на который достигается определенная величина интенсивности молоковыведения Q (кг/мин). Если задаться известной величиной времени доения (например, $T=480$ с), то в начальный $[0:T/2]$ и конечный $[T/2:T]$ период доения интенсивность молоковыведения достаточно хорошо описывается нормированной функцией

$$Q_3(t) = \begin{cases} \frac{\arctg(A(t-B)) + \arctg(AB)}{\frac{\pi}{2} + \arctg(AB)}, & t \leq 240 \\ \frac{1,045(\arctg(0,25A(480-t-4B)) + \arctg(AB))}{\frac{\pi}{2} + \arctg(AB)}, & 240 < t \leq 480 \end{cases} \quad (1)$$

где A, B – постоянные коэффициенты; t – продолжительность доения, с.

Если задать максимальную скорость молоковыведения некоторой величиной $m_{\max}$, кг/мин, то выражение (1) примет вид

$$Q(t) = m_{\max} \cdot Q_3(t) \quad (2)$$

и даст зависимость интенсивности молоковыведения от времени (рис. 4).

На рис. (2) и (3) показаны зависимости удельной интенсивности молоковыведения в начальный период доения при различных значениях A и B .

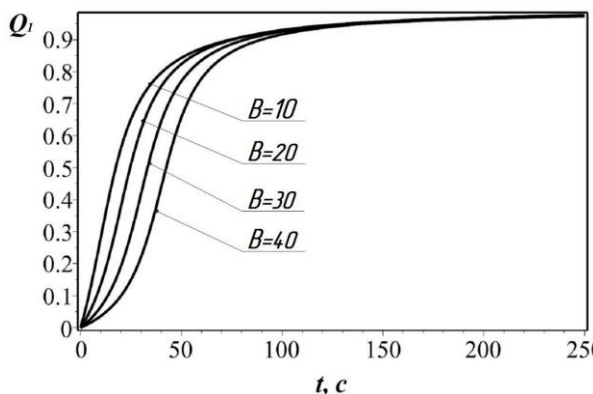


Рисунок 2 - Удельная интенсивность молоковыведения при различных значениях B в начальный период доения

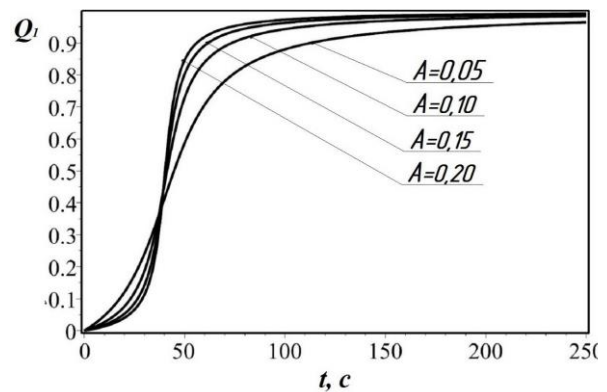


Рисунок 3 - Удельная интенсивность молоковыведения при различных значениях A в начальный период доения

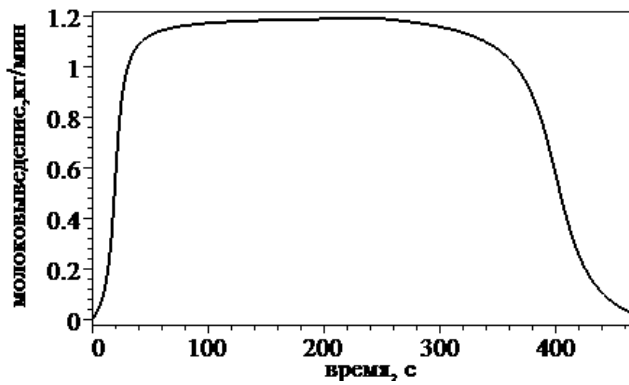


Рисунок 4 - Интенсивность молоковыведения при $m_{\max}=1,2$ кг/мин

представленных выражений (2), (3) и (4) с помощью математического пакета Maple при $A=0,175$; $B=30$; $T=480$ с; $m_{\max}=1,3$ кг/мин показывает, что интенсивность молоковыведения $Q=300$ г/мин достигается за время $t=24$ с, величина надоя молока составит 9,1 кг, средняя интенсивность молоковыведения за период доения составит 0,9 кг/мин.

Рассмотрим теперь процесс наполнения молоколовушки (рис. 5) в начальный период доения. За некоторый промежуток времени Δt объем молока, (m^3) в молоколовушке увеличится на величину

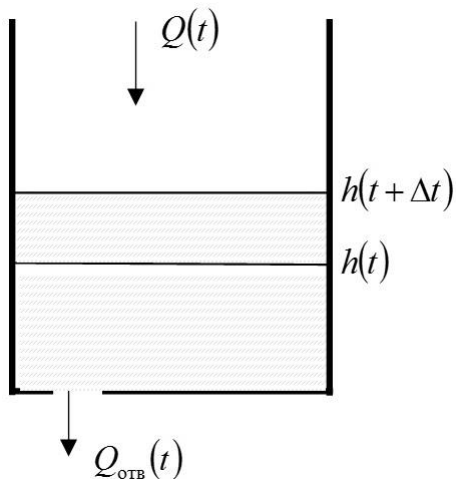


Рисунок 5 - К выводу уравнения, определяющего уровень молока в молоколовушке

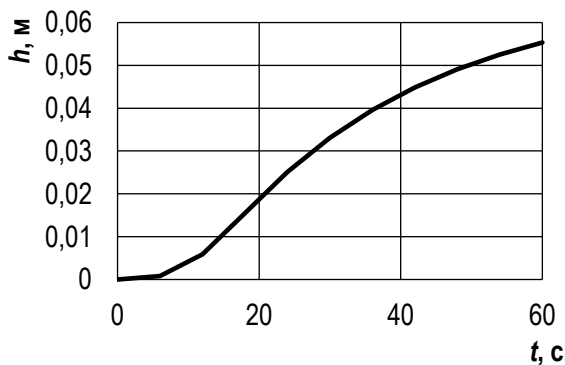


Рисунок 6 - График зависимости уровня молока в молоколовушке от времени доения

Интегрирование выражения (2)

$$\int_0^T \frac{Q(t)}{60} dt \quad (3)$$

представляет собой величину надоя молока (кг) за период доения, а средняя интенсивность молоковыведения (кг/мин) определяется зависимостью

$$\frac{1}{T} \int_0^T Q(t) / 60 \cdot dt \quad (4)$$

Численная реализация пред-

$$S_m h(t + \Delta t) - S_m h(t), \quad (5)$$

где S_m – площадь сечения молоколовушки, m^2 ; h – уровень молока, м.

Это происходит за счет пополнения молоколовушки молоком в количестве, m^3

$$\frac{Q(t + \Delta t) + Q(t)}{2} \Delta t. \quad (6)$$

За этот же промежуток времени через отверстие диаметром d , м отводится молоко объемом, m^3

$$Q_{\text{отв}}(t) = \sigma S_0 \sqrt{2g \frac{h(t + \Delta t) + h(t)}{2}} \Delta t, \quad (7)$$

где σ – коэффициент расхода, $\sigma \approx 0,6 \dots 0,7$; S_0 – площадь отверстия, m^2 ; g – ускорение свободного падения, m/c^2 .

После математических преобразований, получаем уравнение, определяющее уровень молока в молоколовушке:

$$S_m \frac{dh}{dt} = Q(t) - \sigma S_0 \sqrt{2gh}. \quad (8)$$

На рис. 6 представлены результаты численной реализации выражения (8) с помощью компьютерной программы Maple при $S_m=0,0035$ m^2 , $m_{\max}=1,3$ кг/мин, $d=0,006$ м.

Перейдем теперь к вопросу определения веса груза в системе молоколовушка-груз (рис. 7).

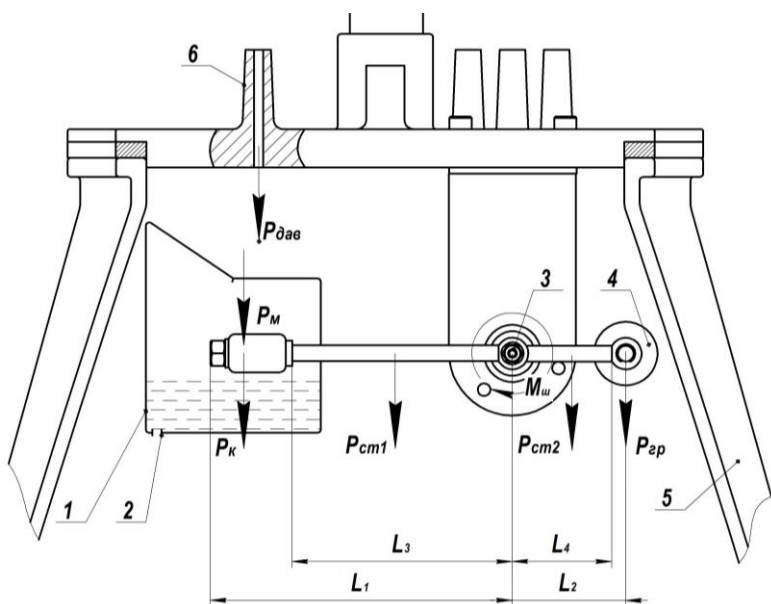


Рисунок 7 - К выводу уравнения, определяющего уровень молока в молоколовушке

На эту систему с одной стороны действуют сила P_1 , имеющая относительно шарнира плечо L_1 и определяемая по формуле $P_1 = P_M + P_{\text{мол}} + P_{\text{дав}}$, где P_M и $P_{\text{мол}}$ – соответственно вес молоколовушки и молока в ней, H ; $P_{\text{дав}}$ – сила давления струи молока на молоколовушку, H .

Также на систему действует сила веса соединяющего стержня $P_{\text{сr1}}$ (H), имеющего плечо $L_3/2$. С другой стороны на систему

действуют вес груза $P_{\text{гр}}$, имеющий плечо L_2 , и вес соединяющего стержня $P_{\text{сr2}}$, имеющего плечо $L_4/2$.

Для начала опрокидывания системы должно выполняться неравенство:

$$P_1 L_1 + P_{\text{сr1}} L_3 / 2 \geq P_{\text{гр}} L_2 + P_{\text{сr2}} L_4 / 2 + M_{\text{ш}}, \quad (9)$$

где $M_{\text{ш}}$ – момент сопротивления в шарнире ($H \cdot м$), который определяется по формуле $M_{\text{ш}} = Pfd$, где f – коэффициент трения в шарнире; d – диаметр вала, м; P – общий вес системы, H , определяемый по формуле

$$P = P_M + P_{\text{мол}} + P_{\text{дав}} + P_{\text{сr1}} + P_{\text{сr2}} + P_{\text{гр}}. \quad (10)$$

Из неравенства (9) следует, что вес груза должен удовлетворять неравенству:

$$P_{\text{гр}} \leq \frac{P_1 L_1 + P_{\text{сr1}} L_3 / 2 - P_{\text{сr2}} L_4 / 2 - M_{\text{ш}}}{L_2}. \quad (11)$$

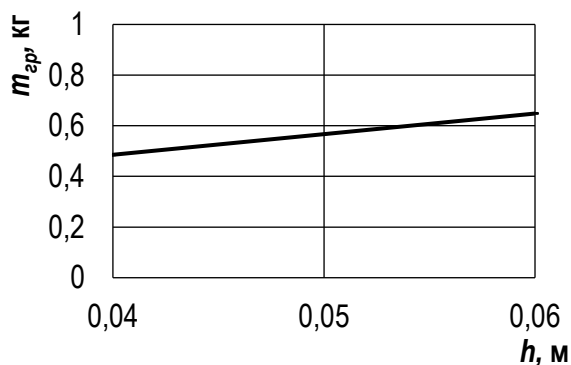


Рисунок 8 - Зависимость массы грузового элемента от уровня жидкости в молоколовушке

На рис. 8 представлены результаты численной реализации выражения (11) с помощью компьютерной программы Microsoft Excel при массе молоколовушки $m_M = 0,046$ кг, ее объеме $V_M = 0,000253 \text{ м}^3$, $L_1 = 0,072$ м, $L_2 = 0,031$ м, $L_3 = 0,035$ м, $L_4 = 0,094$ м, массе коромысла молоколовушки $m_{\text{cm1}} = 0,016$ кг, массе коромысла грузового элемента $m_{\text{cm2}} = 0,00795$ кг, $m_{\text{гр}} = 0,08$ кг, полученных путем моделирования в Компас 3D.

Выражение (11) позволяет определить геометрические параметры устройства управления режимом доения.

Перейдем теперь к вопросу определения диаметра мембраны и веса груза в устройстве переключения магнитного клапана (рис. 9). Вводя в рассмотрение полярный радиус r и полярный угол ϕ , получим уравнение изгиба мембраны при воздействии распределенной нагрузки

$$\frac{d^4 w}{dr^4} + \frac{2}{r} \frac{d^2 w}{dr^2} - \frac{1}{r^2} \frac{d^2 w}{dr^2} + \frac{1}{r^2} \frac{dw}{dr} = \frac{q}{D} \quad (12)$$

где q – распределенная нагрузка, Па, D – изгибная жесткость мембраны, Н·м, которая определяется по формуле $D = \frac{Eh^3}{12(1-\mu^2)}$, где E – модуль упругости резины, Па; μ – коэффициент Пуассона, h – толщина резины, м.

В результате математических преобразований получим:

$$w(r) = \frac{q(r^2 - R^2)^2}{64D} \quad (13)$$

где R – радиус мембраны, м.

Прогиб мембраны на действие сосредоточенной силы в центре выражается зависимостью

$$w(r) = \frac{pR^2}{16\pi D} \left(1 - \frac{r^2}{R^2} + 2 \frac{r^2}{R^2} \ln \frac{r}{R} \right) \quad (14)$$

При $r = 0$ формулы (13) и (14) дают прогиб мембраны в центре круга

$$w_1(q, R) = \frac{qR^4}{64D}, \quad w_2(p, R) = \frac{pR^2}{16\pi D} \quad (15)$$

Для того, чтобы мембрана поднимала грузовой элемент, достаточно что бы

$$w_1(q, R) > w_2(p, R) \quad (16)$$

Так как распределенная нагрузка равна вакуумметрическому давлению, действующему на мембрану, то выражение (16) принимает вид

$$P_{\text{вак}} > \frac{4p}{\pi R^2}, \quad (17)$$

где $P_{\text{вак}}$ – вакуумметрическое давление, Па, p – вес груза, Н.

В третьей главе «Программа и методика экспериментальных исследований» изложены программа и методика исследований для измерения и анализа циклических колебаний давления в камерах

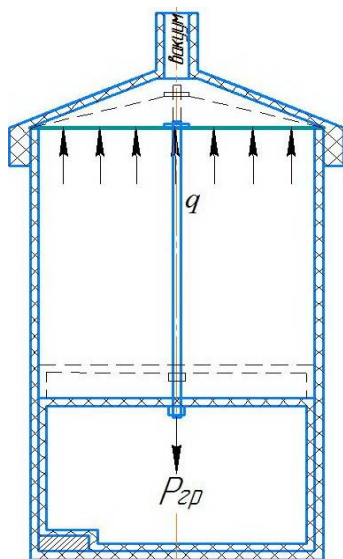


Рисунок 9 - К выводу уравнения, определяющего диаметр мембраны



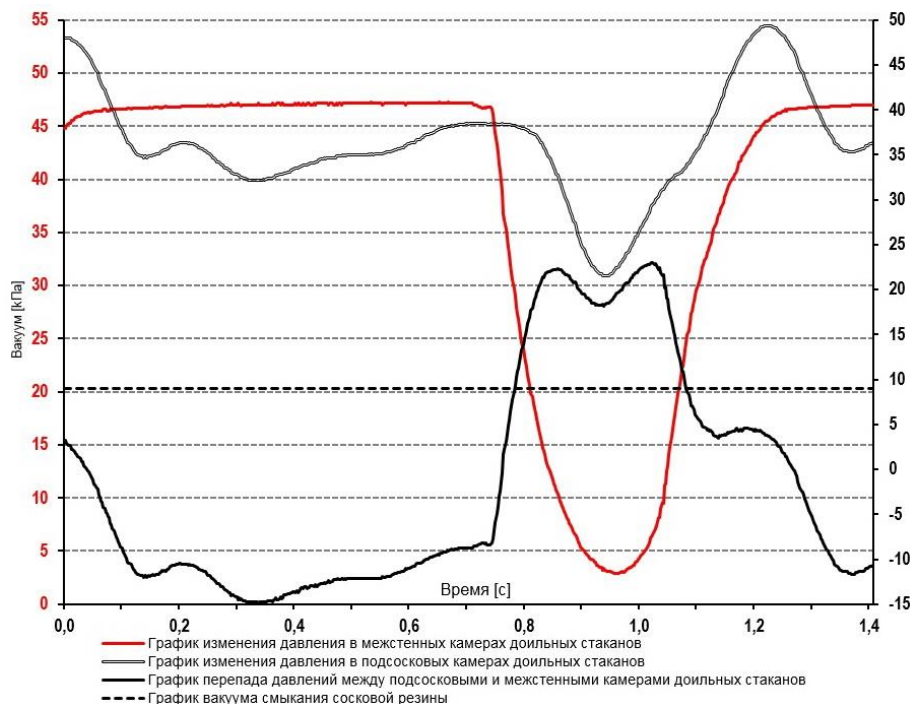
Рисунок 10 - Общий вид установки для определения времени отключения высокочастотного блока вибропульсатора: 1 – «Искусственное вымя»; 2 – тарированный кран; 3 – испытываемый доильный аппарат; 4 – вакуумметр; 5 – вакуумный кран; 6 – резервуар; 7 – соединительные шланги

доильных стаканов, вызванных вибропульсатором с отключаемым высокочастотным блоком, определения пропускной способности доильного аппарата, определения времени отключения высокочастотного блока модернизированного вибропульсатора (рис. 10), определения геометрических параметров устройства переключения магнитного клапана блока управления уровнем вакуума были разработаны лабораторные установки, позволяющие регистрировать исследуемые параметры и включающие прибор для измерения пульсации и вакуума «PulsoTest Comfort», который производит обработку полученной с встроенных тензометрических датчиков давления информации и передает сохранённые данные на компьютер в формате Microsoft Excell. Приведено описание лабораторного оборудования. В основу планирования исследований был положен факторный эксперимент.

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

В четвертой главе «Экспериментальные исследования многофункционального стимулирующего доильного аппарата» в результате исследований циклических колебаний в межстенных и подсосковых камерах доильных стаканов испытываемого аппарата получены величины вакуума в вышеуказанных камерах, частота пульсаций, соотношение и длительность фаз, а также продолжительность рабочего цикла, представленные в таблице 1.

Также были получены осциллограммы изменения давления в камерах доильных стаканов аппарата при выведении жидкости, имитирующей молоко из искусственного вымени при вышеуказанных режимах доения и диаметре



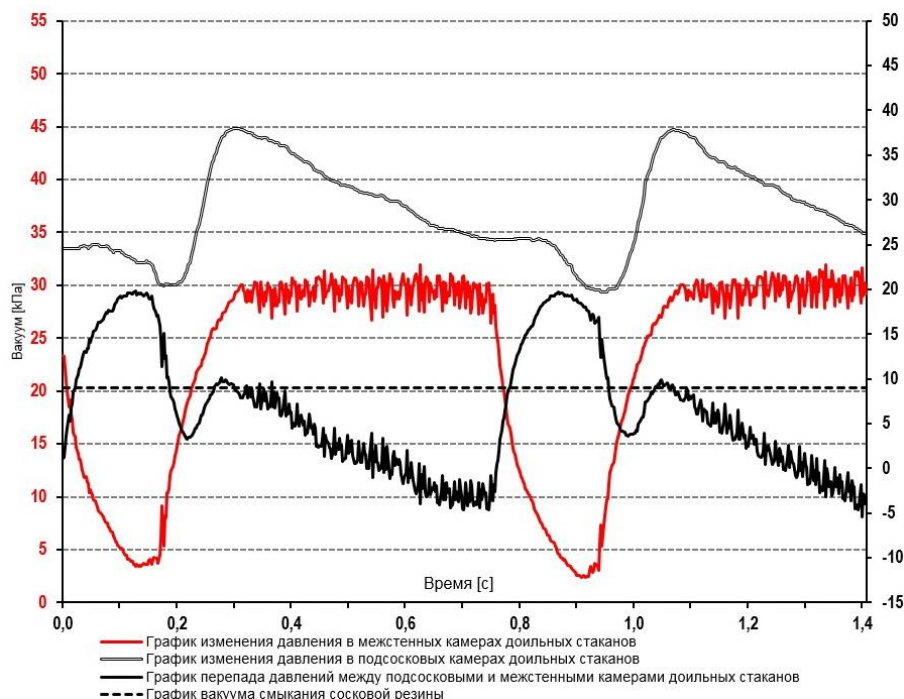
а)

Примечание. График изменения давления в межстенных камерах доильных стаканов соответствует левой оси ординат, остальные графики — правой оси ординат

насадки имитаторов сосков $d = 2$ мм в (рис. 11). Результаты опытов по определению пропускной способности Q (л/мин) экспериментального аппарата и аппарата «Нурлат» в стимулирующем режиме представлены на рис. 12.

Из рис. 12 видно, что с повышением вакуумметрического давления повышается пропускная способность экспериментального аппарата и аппарата «Нурлат» и составляет соответственно при вакуумметрическом

давлении 38 кПа – 4,8 и 4,2 л/мин. Большая пропускная способность МСДА в



стимулирующем режиме по сравнению с аппаратом «Нурлат» объясняется большей продолжительностью такта сосания (70 против 60%) и частотой пульсаций (70,3 против 44,4 мин⁻¹), а также тем, что при выведении жидкости средний перепад давления между межстенными и подсосковыми камерами в период такта сосания снижается до 1,57 кПа (рис. 11).

Рисунок 11 - Осциллограммы изменения давления в камерах доильных стаканов в основном и стимулирующем режиме доения.

Таблица 1 - Параметры циклических колебаний давления в камерах доильных стаканов экспериментального доильного аппарата (МСДА)

Показатели		Режим работы			
		Основной		Стимулирующий	
		межстенная камера	подсосковая камера	межстенная камера	подсосковая камера
Величина Вакуума, кПа	max	48,1	48,2	29,9	38,4
	min	0,9	46,1	0,0	37,7
Частота пульсаций, Гц (мин ⁻¹)		0,84 (50,3)		1,15 (70,3)	
Соотношение фаз, %	сосания	75		70	
	сжатия	25		30	
Продолжительность цикла, мс		1215		829	

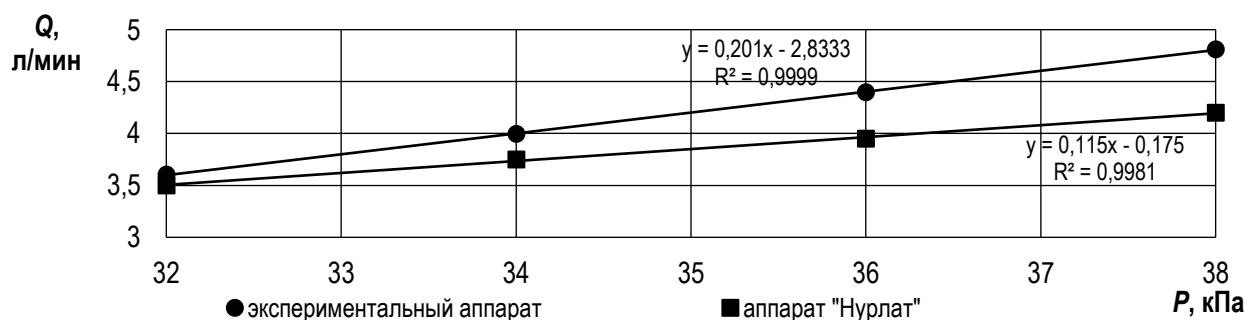


Рисунок 12 - Пропускная способность экспериментального доильного аппарата и аппарата «Нурлат»

Физиологические параметры воздействия доильных раздражителей на молочную железу (максимального давления на сосок P_{max} , минутной F_m и полной

F_{∂} вакуумной нагрузки, а также максимального растягивающего усилия $F_{p.max}$) рассчитывали, используя информацию, полученную с прибора «PulsoTest Comfort», и осциллограммы доения (табл. 2).

Таблица 2 - Параметры воздействия доильных аппаратов на молочную железу в основном и стимулирующем режиме

Параметры	Режим доения				Норма ISO 5707-87
	стимулирующий		основной		
	МСДА	Нурлат	МСДА	Нурлат	
P_{max} , кПа	10,8	22,5	14	27,1	-
F_m , Н·с	582,5	534,1	765,8	747,2	700...1200
F_{∂} , Н·с	-	-	4594,8	4483,2	3600...6000
$F_{p.max}$, Н	13,1	11,2	17	16,8	≤ 17

Анализ табл. 2 показывает, что параметры воздействия экспериментального доильного аппарата на молочную железу ниже установленных пределов норм международного стандарта ISO 5707-87. Меньшая величина давления сосковой резины на сосок вымени у экспериментального аппарата по сравнению с аппаратом «Нурлат» (в стимулирующем режиме 10,8 кПа против 22,5 кПа, а в основном режиме доения 14 кПа против 27,1 кПа) говорит о более физиологичном массаже сосков.

Установлены следующие режимы работы экспериментального аппарата: однофазный низковакуумный с постоянной стимуляцией и трехфазный с управляемой стимуляцией. Вакуумметрическое давление, создаваемое аппаратом в фазе стимуляции 38^{+2} кПа, фазе основного доения 48^{+2} кПа, фаза додаивания 38^{+2} кПа.

Результаты опытов по определению уровня жидкости h в молоколовушке, при котором происходит ее опрокидывание, представлены на рисунке 13 и при обработке в Microsoft Excell достаточно точно ($R^2 = 0,98$) могут быть представлены уравнением регрессии

$$m_{gp} = 3,9194 h + 0,3461 \quad (18)$$

где h – уровень жидкости в молоколовушке, м; m_{gp} – масса грузового элемента, кг.

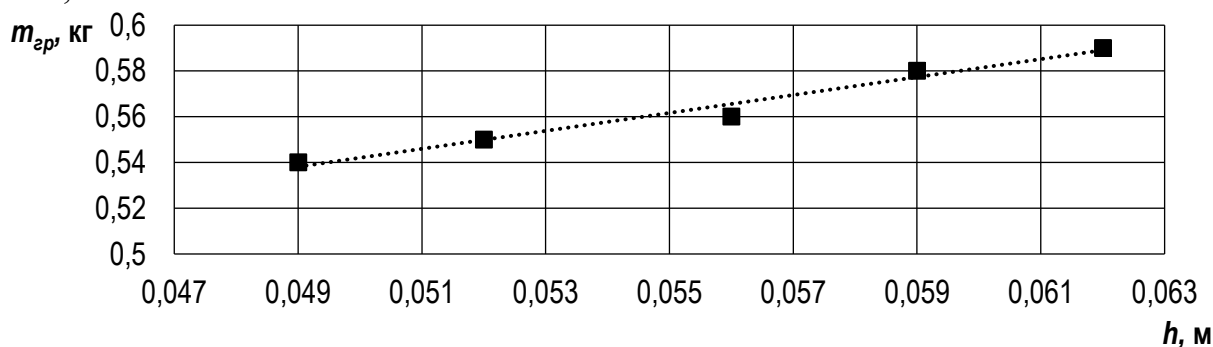


Рисунок 13 - Графическая зависимость уровня жидкости в молоколовушке от массы грузового элемента

В результате анализа опытных данных были выбраны три следующие различные массы грузового элемента равные 0,523; 0,562; 0,595 кг соответствующие

трем уровням жидкости в молоколовушке равным 0,049; 0,056; 0,062 м.

При обработке результатов измерений времени работы высокочастотного блока вибропульсатора t в программе «Statistica 12» установлено, что экспериментальные данные достаточно точно могут быть представлены уравнением регрессии, которое в раскодированном виде приобретает вид

$$t = 555,80 - 15986,74 d + 35,0 Q - 1903,96 m_{gp} - 11000 d Q + 41234,1 d m_{gp} - 78,43 Q m_{gp} + 750000 d^2 + 24,0 Q^2 + 1643,0 m_{gp}^2 \quad (19)$$

где d – диаметр жиклера, м; Q – интенсивность выведения жидкости, л/мин; m_{gp} – масса грузового элемента, кг.

Поверхности отклика при фиксированных на нулевом уровне одного из трех факторов и варьировании остальных двух факторов эксперимента представлены на рис 14.

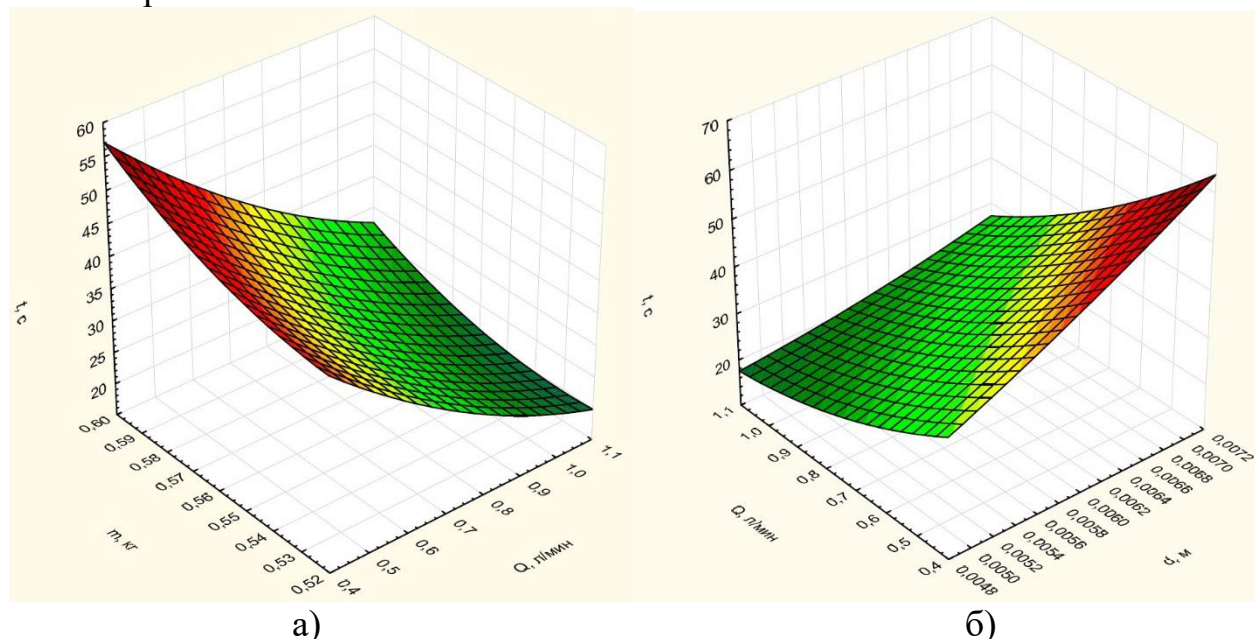


Рисунок 14 - Поверхности отклика, характеризующие время работы высокочастотного блока вибропульсатора при $d = 0,006$ м (а) и $m_{gp} = 0,56$ кг (б).

Для определения численных значений рациональных факторов, при которых не превышает время, необходимое на стимуляцию рефлекса молокоотдачи в пределах 25-30 с, был проведен анализ сравнительных графических зависимостей факторов эксперимента, которые представлены на рис. 15.

Исходя из того, что на ручные подготовительные операции затрачивается в среднем 30...35 с, то высокочастотный блок вибропульсатора должен работать в течение 25...30 с в начале доения. При интенсивности 0,5 кг/мин данное время работы высокочастотного блока вибропульсатора обеспечивается, когда молоколовушка имеет жиклер с диаметром отверстия 5 мм. В результате установлены рациональные конструктивно-технологические параметры блока управления режимом доения, которые позволяют, варьируя массу грузового элемента в пределах 0,52...0,56 кг, выдерживать необходимое время на стимуляцию рефлекса молокоотдачи для различных по молочной продуктивности пород коров.

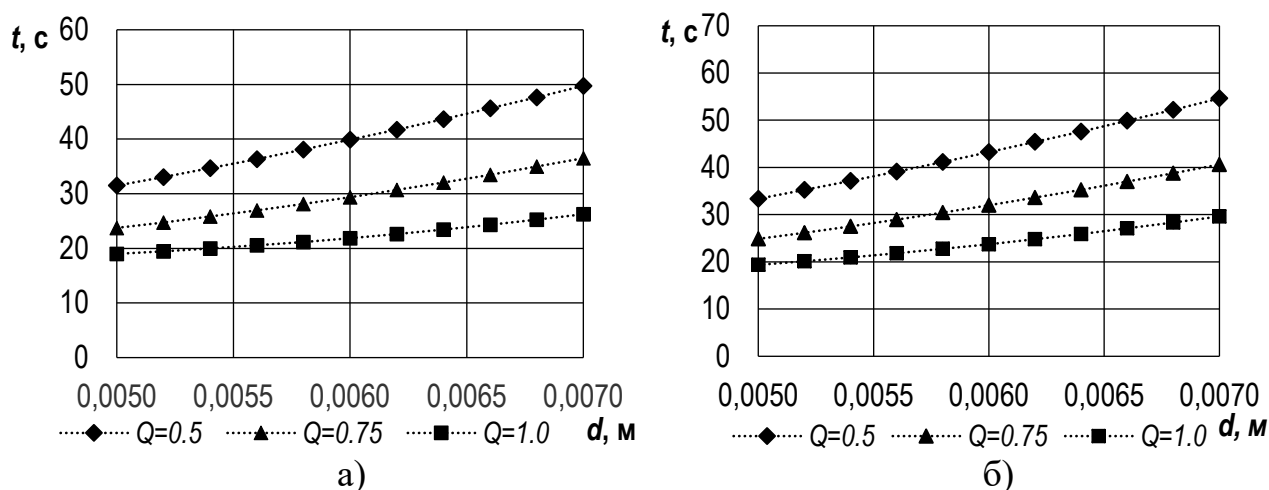


Рисунок 15 - Графические зависимости, характеризующие время работы высокочастотного блока вибропульсатора в зависимости от диаметра жиклера и интенсивности выведения жидкости при $m_{cp} = 0.52$ кг (а) и $m_{cp} = 0.56$ кг (б).

Результаты опытов по определению массы груза магнитного клапана, при которой происходит уравнивание распределенной нагрузки от действия вакуумметрического давления, представлены на рисунке 16 и при обработке в Microsoft Excell достаточно точно ($R^2 = 0.99$) могут быть представлены уравнением регрессии

$$m_{гр.кл} = 70 d_m - 1.3167 \quad (20)$$

где d_m – диаметр мембраны, м; $m_{гр.кл}$ – масса грузового элемента магнитного клапана, кг.

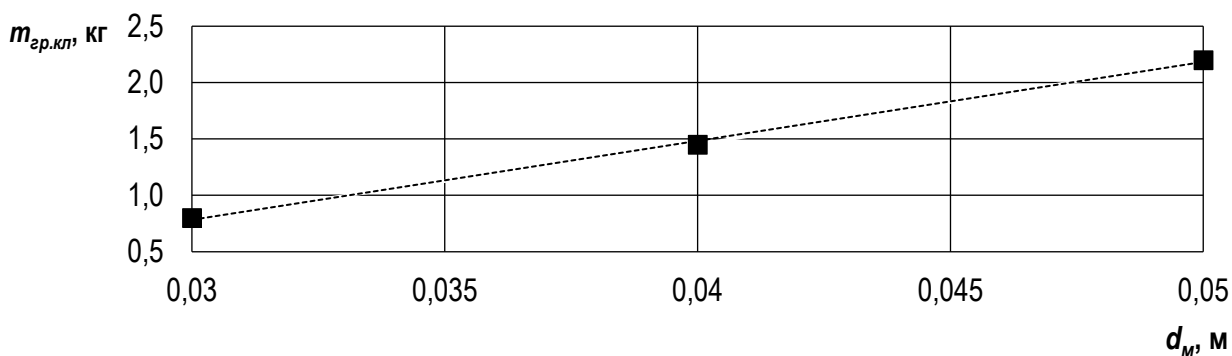


Рисунок 16 - Графическая зависимость массы грузового элемента магнитного клапана от диаметра мембраны

Сравнительные теоретические и экспериментальные графические зависимости представлены на рис. 17.

В результате анализа графических зависимостей доказана верность разработанных теоретических положений, что подтверждается удовлетворительной сходимостью результатов исследований, не превышающей 10%. Следовательно, теоретические зависимости могут быть использованы для обоснования параметров доильного аппарата.

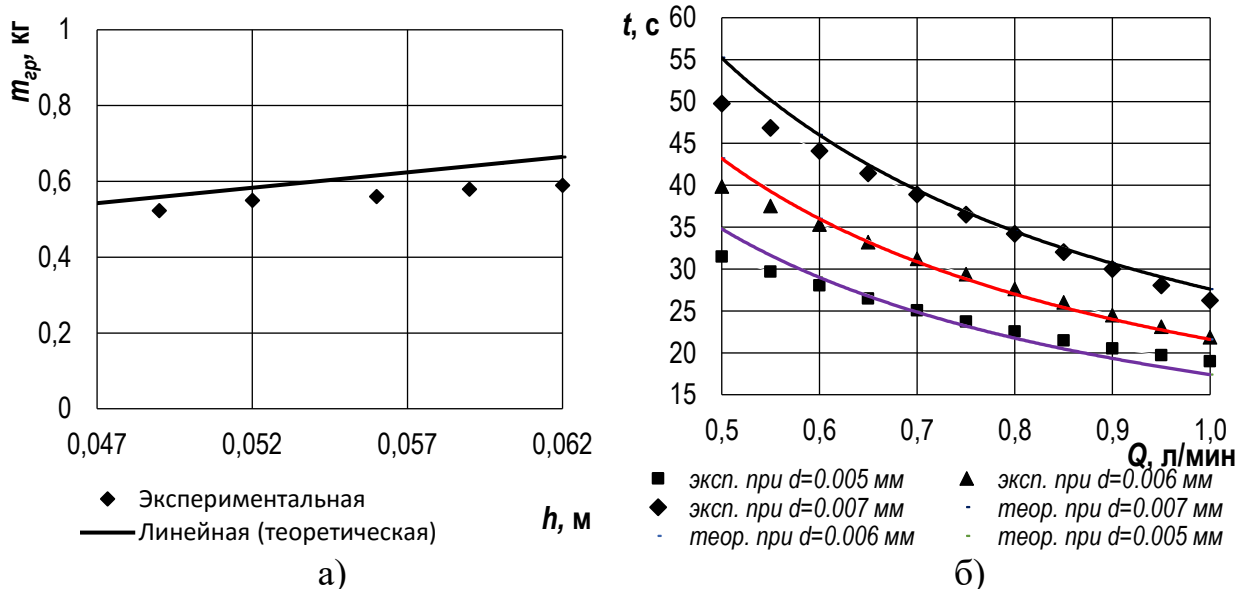


Рисунок 17 - Сравнительные графические зависимости массы грузового элемента от уровня жидкости в молоколовушке (а) и времени работы высокочастотного блока вибропульсатора от диаметра жиклера молоколовушки и интенсивности молокоотдачи (б)

В пятой главе «Производственные испытания и экономическая эффективность

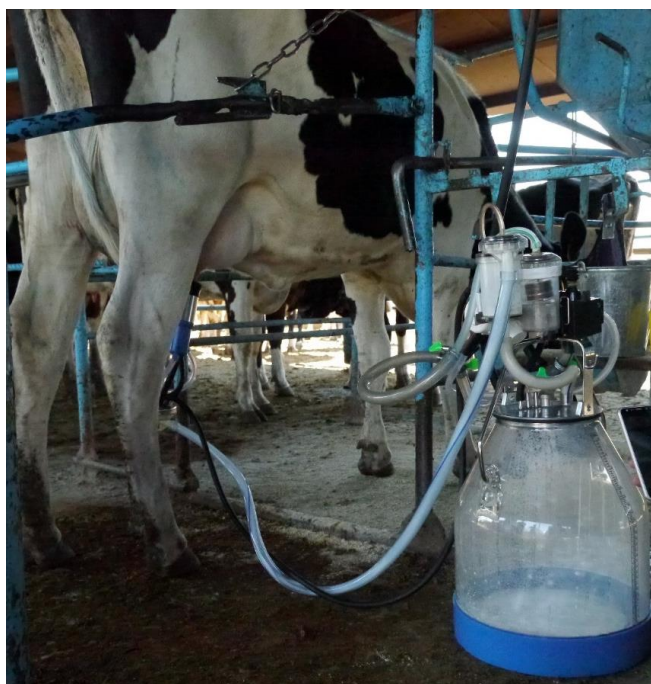


Рисунок 7 - Фрагмент производственной установки, включающей многофункциональный стимулирующий доильный аппарат

ность использования многофункционального стимулирующего доильного аппарата» представлены программа, методика исследований, а также результаты производственных опытов и оценка экономической эффективности использования предлагаемого аппарата. Производственные испытания разработанного доильного аппарата проводили на молочной ферме с. Большой Самовец, принадлежащей ОАО АПО "Дружба" Липецкой области, на коровах чернопестрой породы, находящиеся в 3...4 периодах лактации, живой массой 570 кг с средним удоем 6700 кг за предыдущую лактацию при привязном их содержании. Опытному периоду предшествовал подготовительный пятидневный период. На рис. 18 представлен фрагмент производ-

ственной установки, включающей разрабатываемый доильный аппарат.

Долю остаточного молока в вымени коров после снятия доильного аппарата определяли путем ручного дооя в мерную емкость. Ручной додой составлял 100 – 120 г. Результаты производственных испытаний экспериментального и серийного доильных аппаратов не выявили случаев заболевания маститом.

Производственные испытания показали, что использование эксперимен-

тального аппарата за счет лучшей полноты выдаивания и более адекватного воздействия на молочную железу в процессе доения повышает интенсивность молочковыведения на 14%, разовый удой на 6,9% и снижает среднюю продолжительность доения на 7,1 %.

Проведенная оценка экономической эффективности показывает, что применение разработанного доильного аппарата, позволяет получить годовой экономический эффект в размере 717 тыс. руб. из расчета на 100 коров. Срок окупаемости составляет 0,5 года.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. При доении коров в доильное ведро небольшими группами при их привязном содержании наиболее целесообразно применение многофункционального стимулирующего доильного аппарата, обеспечивающего полное и безопасное выведение молока из вымени при выполнении различных технологических операций: доения основного стада, раздоя новотельных коров в родильном отделении и др. Разработана конструктивно-технологическая схема многофункционального стимулирующего доильного аппарата, который должен содержать двухкамерные доильные стаканы, коллектор, вибропульсатор с отключаемым высокочастотным блоком, блок управления режимом доения, блок управления уровнем вакуума с устройством переключения магнитного клапана, приемник с мембраной дросселя подсосковой камеры.

2. Доказано, что изменение вакуумметрического давления и включение (выключение) высокочастотного блока вибропульсатора приводят к изменению режимных параметров разрабатываемого аппарата. Так, при вакуумметрическом давлении $P=48$ кПа и отключенном высокочастотном блоке вибропульсатора частота пульсаций n составляет 0,84 Гц (50,3 мин⁻¹), соотношение фаз (%) сосания и сжатия – 75/25, продолжительность рабочего цикла $t_{\text{ц}} - 1,215$ с. При вакуумметрическом давлении $P=38$ кПа и включенном высокочастотном блоке вибропульсатора частота пульсаций n составляет 1,15 Гц (70,3 мин⁻¹), соотношение фаз (%) сосания и сжатия – 70/30, продолжительность рабочего цикла $t_{\text{ц}} - 0,829$ с. Установлены следующие режимы работы экспериментального аппарата: однофазный низковакуумный с постоянной стимуляцией и трехфазный с управляемой стимуляцией. Вакуумметрическое давление, создаваемое аппаратом в фазе стимуляции 38^{+2} кПа, фазе основного доения 48^{+2} кПа, фаза додаивания 38^{+2} кПа.

3. Определены физиологические параметры воздействия экспериментального доильного аппарата на молочную железу в разных режимах доения, которые не выходят за пределы норм стандарта ISO 5707-87 и лучше, чем у серийного аппарата «Нурлат». Так при вакууме 38 кПа с включенным высокочастотным блоком вибропульсатора и вакууме 48 кПа и выключенным высокочастотным блоком вибропульсатора максимальное давление сосковой резины на сосок снизилось соответственно с 22,35 и 27,1 в серийном аппарате «Нурлат» при аналогичных режимах доения до 10,8 кПа и 14 кПа в МСДА при более высокой пропускной способности, которая соответственно составила 4,8 и 5,5 л/мин в МСДА против 4,2 и 5,2 л/мин в аппарате «Нурлат». Большая пропускная способность МСДА в стимулирующем режиме по сравнению с аппаратом «Нурлат» объясняется большей продолжительностью такта сосания (70 против 60%) и частотой пульсаций (70,3 против 44,4 мин⁻¹), а также тем, что при выведении жидкости средний перепад давления между межстенными и подсосковыми камерами в период такта сосания снижается до 1,57 кПа.

4. Доказана адекватность теоретических и экспериментальных зависимостей,

характеризующих время работы высокочастотного блока вибропульсатора от интенсивности молоковыведения и диаметра жиклера молоколовушки, а также массу грузового элемента от уровня жидкости в молоколовушке. Отклонения не превышают 9,5 %. В результате установлены рациональные конструктивно-технологические параметры блока управления режимом доения, которые позволяют, варьируя массу грузового элемента в пределах 0,52...0,56 кг при диаметре отверстия жиклера молоколовушки 5 мм, выдерживать необходимое время работы высокочастотного блока пульсатора в пределах 18...32 с для различных по молочной продуктивности пород коров.

5. Доказана адекватность теоретических и экспериментальных зависимостей, характеризующих массу грузового элемента магнитного клапана $m_{гр.кл}$ от диаметра мембраны d_m переключающего устройства блока управления уровнем вакуума. Отклонения не превышают 10 %. В результате установлены конструктивные параметры переключающего устройства: $d_m = 0,04$ м; $m_{гр.кл} = 0,55$ кг, позволяющие осуществлять надежную фиксацию магнитного клапана в верхнем и нижнем положении.

6. Результаты производственных испытаний свидетельствуют о том, что экспериментальный доильный аппарат работоспособен и позволяет повысить разовый удой на 6,9 % и снизить продолжительность доения на 7,1 %. Расчетный годовой экономический эффект за счет внедрения доильного аппарата на молочной ферме в расчете на 100 коров составит 717 тыс. руб. при сроке окупаемости 0,5 года.

Рекомендации производству:

Применение многофункционального доильного аппарата при доении коров небольшими группами позволит выполнять различные технологические операции, связанные с машинным доением коров: от приучения к машинному доению до доения высокопродуктивных коров. Полученные результаты могут быть использованы предприятиями, занимающимися созданием и реализацией доильного оборудования.

Перспективы дальнейшей разработки темы:

В дальнейшей перспективе научных исследований необходимо продолжить работу в направлении упрощения конструкции аппарата и создания агрегата индивидуального доения.

СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ АВТОРОМ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Публикации изданиях, входящих в международные реферативные базы данных (Scopus)

1. Modelling of lactation (Andrianov E.A., Shatsky V.P., Andrianov A.A. and Borodin S.A.) – Asian journal of microbiology, biotechnology and environmental sciences (VOL. 19, NO. 3, 2017, 594-597).

Публикации в ведущих рецензируемых научных изданиях, в которых должны быть опубликованы основные результаты кандидатских диссертаций

2. Бородин С.А. Теоретическое обоснование конструктивных параметров устройства управления режимом доения [Текст] / С.А. Бородин, Е.А. Андрианов, В.П. Шацкий, А.А. Андрианов // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. – 2017. – № 2(53) – С. 105-111.

3. Бородин С.А. Аппроксимация кривой молокоотдачи [Текст] / С.А. Бородин, Е.А. Андрианов, В.П. Шацкий, А.А. Андрианов //Сельский механизатор. – 2017. – № 11– С. 24-25.

4. Бородин С.А. Обоснование режимных параметров многофункционального стимулирующего доильного аппарата [Текст] / С.А. Бородин, Е.А. Андрианов, А.А. Андрианов, Т.Н. Тертычная // Техника и оборудование для села. – 2018. - № 4. – С. 18-23.

5. Бородин С.А. Обоснование конструктивно-технологических параметров блока управления режимом доения многофункционального доильного аппарата [Текст] / С.А. Бородин, Е.А. Андрианов, А.А. Андрианов //Сельский механизатор. – 2018. – № 9– С. 30.

Патенты

6. Патент на изобретение № 2613499 РФ; А01J 5/00 (2006.01). Доильный аппарат / Е.А. Андрианов, А.А. Андрианов, С.А. Бородин; заявитель и патентообладатель Воронеж. гос. аграр. ун-т. – №2015148119; Заявл. 09.11.2015; Опубликовано 16.03.2017.

7. Патент на полезную модель №172455 РФ; А01J 5/00 (2006.01). Доильный аппарат / Е.А. Андрианов, А.А. Андрианов, С.А. Бородин; заявитель и патентообладатель Воронеж. гос. аграр. ун-т. – № №2016147854; Заявл. 06.12.2016; Опубликовано 11.07.2017.

Публикации в материалах международных конференций

8. Бородин С.А. К вопросу совершенствования конструкций доильных аппаратов [Текст] / С.А. Бородин //Агропромышленный комплекс на рубеже веков: Матер. межд. науч.-практ. конф. – Воронеж: Воронеж. гос. аграр. ун-т, 2015. – С. 57-61.

9. Бородин С.А. К вопросу совершенствования устройств для доения коров [Текст] / С.А. Бородин // Инновационные направления развития технологий и технических средств механизации сельского хозяйства: Матер. межд. науч.-практ. конф. – Воронеж: Воронеж. гос. аграр. ун-т, 2015. – С. 30-34.

10. Бородин С.А. К обоснованию конструктивно-технологической схемы доильного аппарата [Текст] / С.А. Бородин //Наука и образование в современных условиях: Матер. межд. науч.-практ. конф. – Воронеж: Воронеж. гос. аграр. ун-т, 2016. – С. 178-183.

11. Бородин С.А. К анализу конструкций стимулирующих доильных аппаратов [Текст] / Е.А. Андрианов, А.А. Андрианов, С.А. Бородин, В.П. Шацкий // Современные научно-практические решения XXI века: Матер. межд. науч.-практ. конф. – Воронеж: Воронеж. гос. аграр. ун-т, 2016. – С. 201-206.

12. Borodin S. A. Improving structures of milking machines [Текст] / S.A. Borodin // Актуальные проблемы аграрной науки, производства и образования: материалы международной научно-практической конференции молодых ученых и специалистов на иностранных языках: – Воронеж: Воронеж. гос. аграр. ун-т, 2016. – С. 94-98.

13. Бородин С.А. К обоснованию конструктивно-технологической схемы многофункционального стимулирующего доильного аппарата [Текст] / С.А. Бородин, Е.А. Андрианов, А.А. Андрианов // Роль аграрной науки в развитии АПК РФ: Матер. межд. науч.- практ. конф. – Воронеж: Воронеж. гос. аграр. ун-т, 2017. – С. 214-219.