

Лапкин  
Андрей Геннадиевич

**Обоснование параметров устройства  
для преддоильной очистки сосков вымени коров  
на автоматических доильных установках**

05.20.01- технологии и средства механизации сельского хозяйства

**Автореферат**  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Москва – 2015

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева» (ФГБОУ ВО РГАУ – МСХА имени К.А. Тимирязева)

Научный руководитель: доктор технических наук, доцент  
**Иванов Юрий Григорьевич**

Официальные оппоненты: **Соловьев Сергей Александрович**  
доктор технических наук, профессор, Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Всероссийский научно-исследовательский технологический институт ремонта и эксплуатации машинно-тракторного парка»

**Мишуров Николай Петрович**  
кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник, заведующий отделом анализа и обобщения информации по механизации и электрификации сельскохозяйственного производства Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Росинформагротех»

Ведущая организация: Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Всероссийский Научно-исследовательский Институт Механизации Животноводства»

Защита состоится «\_\_» июня 2015 г. В \_\_ часов \_\_ минут на заседании диссертационного совета Д 006.037.01, созданного на базе Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Всероссийский научно-исследовательский институт электрификации сельского хозяйства» (ФГБНУ ВИЭСХ) по адресу: 109456, Москва, 1-й Вешняковский проезд, 2.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБНУ ВИЭСХ и на сайте <http://viesh.ru>

Автореферат разослан «\_\_» \_\_\_\_\_ 2015 г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета

Алексей Иосифович  
Некрасов

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность работы.** Анализ отечественного и зарубежного опыта развития молочного животноводства показывает, что от оснащенности ферм средствами и системами контроля и управления технологическими процессами зависит уровень реализации генетического потенциала каждого животного.

Значительная трудоёмкость процесса доения, неуклонно повышающиеся требования к качеству молока и возрастающая оплата труда работников стимулируют внедрение на молочных фермах автоматических доильных установок – роботов, обеспечивающих подготовку коров к доению и доение без участия человека.

Разнообразие технологий содержания коров предопределяет различные задачи при переводе коров на автоматическое доение. В частности, имеет место проблема качества молока, вызванная несовершенством алгоритма и устройств подготовки коров к доению на автоматических доильных установках при содержании животных на выгульных площадках и пастбищах. Как показывают исследования, в периоды выпадения осадков, особенно весной и осенью, соски вымени коров загрязняются значительно, очищать их сложнее, а существующие устройства в этих случаях не обеспечивают эффективную очистку сосков перед доением, что приводит к увеличению механического и микробиологического загрязнения молока. Поэтому совершенствование устройств для преддоильной подготовки сосков вымени коров на автоматических доильных установках является актуальной задачей.

**Целью работы** является обоснование параметров устройства для преддоильной очистки сосков вымени коров на автоматических доильных установках, обеспечивающего повышение эффективности очистки сосков и качества получаемого молока.

Для достижения поставленной цели определены следующие задачи исследования:

1. Провести анализ устройств для преддоильной подготовки сосков вымени коров на автоматических доильных установках и факторов вызывающих загрязнение сосков.
2. Разработать математическую модель очистки сосков вымени коров щеточным устройством.
3. Определить конструктивно-режимные параметры устройства для очистки сосков вымени коров перед доением.
4. Разработать алгоритм функционирования устройства для очистки сосков вымени коров перед доением.
5. Провести лабораторные и производственные испытания устройства для очистки сосков вымени коров перед доением.
6. Провести оценку качества очистки механических загрязнений молока, а также микробиологических загрязнений сосков вымени коров и выдаиваемого молока.
7. Провести оценку экономической эффективности применения разработанного устройства для преддоильной очистки сосков вымени коров.

**Объект исследования.** Процессы и технические средства для преддоильной очистки сосков вымени коров на автоматических доильных установках.

**Предмет исследования.** Параметры устройства, алгоритм и режимы преддоильной очистки сосков вымени коров.

**Методы исследования.** Решение поставленных задач проведено с использованием системного и математического анализа, математической статистики, математического моделирования, программирования с применением средств микропроцессорной и компьютерной техники. Используемые программы: Microsoft Office Excel 2007, Microsoft VISIO 2007, AutoCad, Statistica 6.0.

**Научная новизна.** Выполненные исследования позволили получить совокупность новых положений и результатов, заключающихся в разработке:

- математической модели очистки сосков вымени коров щеточным устройством, устанавливающей соотношение между параметрами воздействия ворса на загрязненный сосок, увлажнения щеток, щеточного устройства и режимами очистки;

- конструктивно-режимных параметров щеточного устройства, обеспечивающих повышение эффективности преддоильной очистки сосков вымени коров на автоматических доильных установках;

- алгоритма функционирования щеточного устройства для преддоильной очистки сосков вымени коров, учитывающего режимы увлажненной очистки сосков от загрязнений и контроль частоты вращения щеток.

**Практическая значимость работы.** Разработанные устройство и алгоритм для преддоильной очистки сосков вымени коров на автоматических доильных установках обеспечивают повышение эффективности очистки сосков вымени коров от механических и микробиологических загрязнений и качество получаемого молока.

**Реализация результатов исследований.** Результаты проведенных исследований внедрены на предприятии по производству молока «КФК Кузмин», а также используются в учебном процессе РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, Великолукской ГСХА, Чувашской ГСХА и Нижегородского ГИЭИ.

**Основные положения, выносимые на защиту:**

- математическая модель, устанавливающая соотношения между параметрами щеточного устройства, загрязненного соска и режимов очистки с учетом воздействия пучков ворса на сосок и их увлажнения;

- результаты теоретических и экспериментальных исследований, определяющие конструктивно-режимные параметры усовершенствованного щеточного устройства для автоматических доильных установок (доильных роботов), обеспечивающие повышение эффективности преддоильной очистки сосков вымени коров и качества получаемого молока;

- алгоритм функционирования щеточного устройства очистки сосков вымени коров, обеспечивающий последовательную влажную очистку каждого соска и фиксированную очистку его основания с последующим удалением остатков влаги, на основе контроля частоты вращения щеток;

- результаты производственной проверки устройства для преддоильной очистки сосков вымени коров в составе доильного робота Lely Astronaut, обеспечивающие снижение бактериальной обсемененности на ворсе щеток, поверхности соска и в молоке, а также количества механических частиц в молоке.

Техническая новизна разработанного устройства подтверждена двумя патентами РФ.

**Апробация работы.** Основные положения и результаты исследований доложены на: 9-ой Международной научно-технической конференции "Энергообеспечение и энергосбережение в сельском хозяйстве", Москва, ВИЭСХ, 21-22 мая 2014 г.; 17-ой Международной научно-практической конференции «Инновационные технологии и технические средства производства продукции животноводства с интеллектуальными системами управления механизированными процессами», Москва, ВНИИМЖ, 23-24 апреля 2014 г.; 5-ой Международной научно-практической конференции преподавателей, молодых ученых, аспирантов и студентов «Инновационные процессы в АПК», Москва, РУДН, 17-19 апреля 2013 г.; 16-ой Международной научно-практической конференции «Совершенствование управления технологическими процессами в животноводстве - основа повышения эффективности производства и качества продукции», Подольск, ВНИИМЖ, 24-25 апреля 2013г.; 15-ой Международной научно-практической конференции «Система технологий и машин для животноводства на период до 2020г. - Технологические, организационно-экономические требования и методология разработки», Подольск, ВНИИМЖ, 25-26 апреля 2012 г.; Всероссийской конференции студентов, аспирантов и ученых с международным участием «Основные направления развития техники и технологии в АПК, легкой и пищевой промышленности», г. Княгинино, НГИЭИ, 13 декабря 2012 г.; 64-ой международной студенческой научной конференции в РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, 15-18 марта 2011г..

**Публикации результатов исследований.** Материалы диссертации изложены в 11 печатных работах, в том числе 3 из них в рецензируемых журналах, рекомендованных ВАК. Получены патенты РФ № 143230 и 148215.

**Структура и объем работы.** Диссертационная работа изложена на 170 страницах машинописного текста, состоит из разделов: введения, анализа состояния проблемы, теоретических исследований, методики и экспериментальной установки, описания устройства, результатов экспериментальных исследований, технико-экономической оценки, выводов и предложений, списка использованной литературы из 115 источников, в том числе 21 на иностранном языке. Работа включает 11 таблиц, 60 рисунков и 5 приложений.

## СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

**Во введении** обоснована актуальность темы, определены цель и задачи исследований, сформулирована научная новизна и практическая ценность работы, представлены сведения об апробации, публикациях, объеме и структуре работы.

**В первой главе** проведен анализ тенденций развития автоматических доильных установок и устройств для преддоильной обработки сосков вымени коров.

Проанализированы работы ведущих отечественных и зарубежных ученых, разработавших научные основы автоматизированных технологий в молочном животноводстве, среди которых следует отметить Л.П. Карташова, Л.П. Кормановского, В.И. Сыроватка, Р.М. Славина, В.Р. Крауспа, В.В. Кирсанова, Э.А., Келписа, В.А. Дриго, Н.М. Морозова, Е.Е. Хазанова, Ю.А. Цоя, В.Ф. Ужика. Исследования по разработке технических средств и систем управления доением на автоматизированных установках проведены в ВИЭСХ, ВНИИМЖ, ВНИИКОМЖ, С-ЗНИИМЭСХ, Белгородской ГСХА, Оренбургском ГАУ, ГСКБ (Рига, Латвия), ОАО «Гомельагрокомплект» (Беларусь).

Одним из наиболее перспективных направлений развития молочного животноводства является внедрение доильных роботов, поставляемых компаниями: «Lely» (Нидерланды), «DeLaval» (Швеция), «GEA Farm Technologies» (Германия), «Fulwood» (Великобритания), «Bou-Matic» (США) Insentec (Нидерланды), Prolion Sales (Нидерланды), Manus (Нидерланды), Gascoine Melotte (Нидерланды) и другими.

Эффективная очистка сосков перед доением имеет решающее значение, поскольку результат очистки больше не зависит от добросовестности доярки. От этого зависит здоровье животных и качество молока. Первая автоматическая установка УОВ-Ф-1 для подготовки сосков и вымени коров к доению для залов была создана еще в 1970 годах Рижским ГСКБ. Она функционировала по программе без учета индивидуальных параметров животных и не получила распространения. Аналогичными разработками занимались во ВНИИКОМЖ (Седов А.М.), в Оренбургской ГСХА (Карташов Л.П.), Белгородской ГСХА (Ужик В.Ф., Клименко Д.Б.) и других научных организациях и вузах.

Исследования зарубежных ученых (К. Knappstein, N. Roth, В.А. Slaghuis, R.T. Ferwerda-van Zonneveld), а также собственные исследования показывают, что устройства подготовки сосков к доению не всегда обеспечивает эффективную очистку сосков вымени коров.



Рисунок 1. Классификация загрязнений на сосках вымени коров

При содержании коров на фермах с выгульными площадками и на пастбищах загрязнения сосков зачастую представляют собой комбинации из навоза, мочи, подстилки и почвы, обладающих различными адгезионными и когезионными свойствами.

Для эффективной очистки сосков необходим выбор рационального способа: воздействия рабочих органов, взаимодействующих с загрязнениями, алгоритма и параметров процесса очистки. В связи с этим проанализированы источники возникновения загрязнений, свойства загрязняющих материалов и причины, затрудняющие их удаление (рис.1). При подготовке классификации загрязнений проанализированы работы Дегтерева Г.П., Тельнова Н.Ф., Тарасова В.К. и других.

Для выбора способа, обеспечивающего эффективную очистку широкого спектра загрязнений, проведен анализ гидромеханических, гидродинамических и механических моюще-очищающих способов обработки сосков вымени коров перед доением (рис.2).



Рисунок 2. Классификация способов подготовки сосков вымени коров к доению

Для удаления с сосков сложных, в частности, высохших и затвердевших загрязнений представляет интерес применение механического способа, используемого, например, в доильных роботах компаний «Lely» и «Fulwood». Известное щеточное устройство обеспечивает последовательную очистку сосков с увлажнением и стряхиванием загрязнений с щеток в исходном состоянии.

Сравнительные исследования, проведенные К. Knappstein, N. Roth, B.A. Slaghuis, R.T. Ferwerda-van Zonneveld показывают, что процент полностью очищенных сосков при применении щеток выше, чем у специальных стаканов.

Собственные исследования, проведенные в осенний и весенний периоды 2012-2014 г.г. в четырнадцати хозяйствах Калужской, Нижегородской и Тульской областей показали, что даже щеточные устройства на доильных роботах не всегда в состоянии обеспечить эффективную очистку сосков от загрязнений. Проблема усугубляется при неблагоприятных погодных условиях, в частности, в дождливые дни. При этом ухудшаются микробиологические показатели качества молока и увеличивается количество механических загрязнений, часть из которых остается на молочном фильтре, а часть попадает в собранное молоко.

В связи с этим возникает необходимость усовершенствовать конструктивно-режимные параметры щеточного устройства и алгоритм его функционирования с целью повышения эффективности очистки сосков от загрязнений и качества молока.

При проведении исследований проанализированы работы по теории щеточных устройств для различных задач А.М. Гусева, Ю.Н. Вальщикова, В.И. Баловнева, А.И. Доценко, В.Ф. Ужика, Д.Б. Клименко и др.

**Вторая глава** посвящена разработке математической модели очистки сосков вымени коров устройством, представляющим собой пару увлажняемых щеток с приводом от пневмомотора с контролем частоты вращения.

Эффективность очистки сосков вымени от загрязнений ( $K_3$ ) является функцией четырех групп переменных: параметров соска ( $M_c$ ), параметров щеточного устройства ( $M_{щч}$ ), режимов очистки ( $M_{ро}$ ), параметров загрязнения ( $M_3$ ), которую можно представить в виде

$$K_3 = \{ M_c, M_{щч}, M_{ро}, M_3 \}. \quad (1)$$

В общем виде процесс преддоильной подготовки вымени коров к доению можно описать множеством параметров, влияющих на эффективность очистки сосков от загрязнений:

$$K_3 = \{ L_c, d_c, E_c, K_{сф}, K_{сн}, D_{щ}, l_v, d_v, n_n, B_v, N_{пр}, \omega, Q_{ж}, K_{в}, K_{щк}, t_c, P_{оу}, t_{сo}, v_{щл}, K_{щч}, K_{нб}, m_3, K_{зл}, K_{за}, K_{зп} \}, \quad (2)$$

где  $L_c$  – длина соска, мм;  $d_c$  – диаметр соска, мм;  $E_c$  – модуль упругости соска, кгс/мм<sup>2</sup>;  $D_{щ}$  – диаметр щетки, мм;  $l_v$  – длина ворса, мм;  $d_v$  – диаметр ворса щетки, мм;  $n_n$  – количество ворсинок в пучке, шт;  $B_v$  – модуль относительной жесткости пучка ворсинок, кгс·см;  $N_{пр}$  – мощность привода щеточного устройства, Вт;  $\omega$  – угловая скорость вращения щетки, рад/с;  $Q_{ж}$  – расход моющей жидкости, подаваемой на щетку, м<sup>3</sup>/мин;  $t_c$  – продолжительность очистки поверхности соска, с;  $P_{оу}$  – окружное усилие, Н;  $t_{сo}$  – продолжительность очистки основания соска, с;  $v_{щл}$  – линейная скорость щетки, мм/с;  $m_3$  – масса загрязнения, г; а так же коэффициенты, учитывающие  $K_{сф}$  – форму соска,  $K_{сн}$  – шероховатость и неровности (складки) на поверхности соска,  $K_{в}$  – влагоудержание ворса щеток,



$K_{щк}$  – капиллярность ворса щеток,  $K_{щн}$  – интенсивность механических воздействий пучков ворса на единицу длины соска,  $K_{нб}$  – расположение пучков ворса на барабане щетки;  $K_{зм}$  – физико-механические свойства материала загрязнения,  $K_{за}$  – агрегативное состояние материала загрязнения;  $K_{зн}$  – площадь загрязнения соска.

Принимаем, что очистка соска от загрязнений осуществляется пучком ворса, жесткость  $B_n$  которого может быть связана с жесткостью отдельной ворсинки выражением

$$B_n = K_n E J n_n, \quad (3)$$

где  $K_n$  – коэффициент,  $< 1,0$ ;  $E$  – модуль упругости материала ворса, равный  $2,5 \times 10^4$  кг/см<sup>2</sup>;  $J$  – момент инерции поперечного сечения ворса, см<sup>4</sup>.

Если в зоне контакта ворса с соском находится несколько пучков  $n_{nn}$ , то их жесткость  $B_{nn}$  суммируется

$$B_{nn} = K_n E J n_n n_{nn}. \quad (4)$$

Воздействие пучка ворса на кончик соска зависит от линейной и угловой скоростей щеток. В момент первого касания пучков ворса щеток о кончик соска вымени у коровы возникают болевые ощущения. Это точки  $K_1$  и  $K_2$  в позиции I щеток (рис 3).

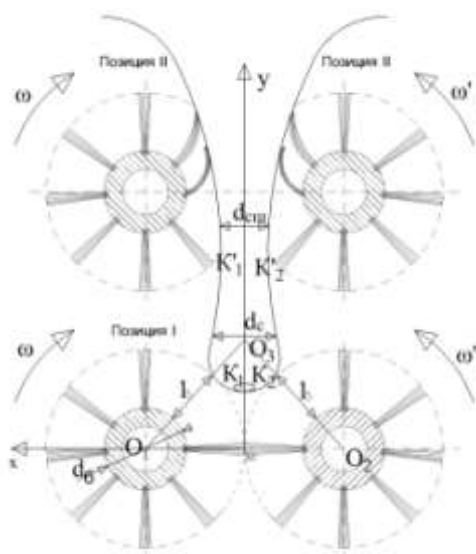


Рисунок 3. Схема взаимодействия щеток с соском вымени коровы

Абсолютная скорость ворсинок  $\vartheta_{аб}$  в точке 0 позиционирования щетки (позиция I) может быть представлена в виде выражения

$$\vartheta_{аб} = \sqrt{\omega^2 \left( l_с + \frac{d_б}{2} \right)^2 + \left( \frac{l_с}{t_с} \right)^2}, \text{ м/с}. \quad (5)$$

Скорость вертикального перемещения щеток ограничена временем подготовки коровы к доению и имеет вполне конкретные значения.

При очистке соска наиболее тяжело удаляются твердые загрязнения. При этом действие щеток на сосок сопровождается ударами пучков ворса, деформациями загрязненной поверхности соска, волочением частиц загрязнений ворсинками и их отбрасыванием. Полное окружное усилие  $P$  на пучках ворса щетки складывается из силы  $P_1$  на удар и силы  $P_2$  на волочение и отбрасывание

$$P = P_1 + P_2, \text{ Н}. \quad (7)$$

Силу  $P_1$ , удара, можно определить из условия равенства импульса силы  $P_1$  изменению количества движения загрязнённой массы (частицы почвы, грунта, навоза и т.д.), т. е.

$$P_1 \Delta t = m_3 (\vartheta_2 - \vartheta_1),$$

где  $\Delta t$  – продолжительность времени удара, с;  $m_3$  – масса загрязняющих частиц, по которым наносятся удары, кг;  $\vartheta_2$  – скорость массы загрязнения в конце удара, м/с;  $\vartheta_1$  – скорость движения массы в начале удара, м/с.

Используя, принятые в работах В.П. Горячкина, положения о пропорциональности силы  $P_2$  полному окружному усилию  $P$ , т.е.  $P_2 = fP$ , где  $f$  – коэффициент пропорциональности, характеризующий степень загрязнения и подставляя  $P_1$  и  $P_2$  в выражение (7), получаем

$$P = \frac{m_3 \alpha \vartheta_{a\delta}}{\Delta t (1-f)}, \quad H, \quad (8)$$

где  $\alpha$  – коэффициент пропорциональности.

Значение мощности, требуемой для удаления загрязнения, можно получить, если умножить обе части равенства (8) на окружную скорость щетки

$$N_i = \frac{m_3 \alpha \vartheta_{a\delta} \vartheta}{\Delta t (1-f)}, \quad \text{Вт}, \quad N_0 = \sum_{i=1}^n N_i, \quad \text{Вт}. \quad (9)$$

Воздействие ворса щеток на сосок коровы может быть как позитивным, т.е. необходимым для удаления загрязнений, так и негативным, вызывающим повреждение эпидермиса кожи соска, разрушение барьера для патогенов, болевые ощущения.

Щеточное устройство, воздействуя на загрязнения соска не должно оставлять пропусков, повреждать соски и забиваться загрязнениями. Эффективной очистке и равномерному воздействию на сосок должна способствовать такая расстановка пучков ворса, при которой не остаются нетронутые полосы и перекрытия в момент их ударов о сосок, во время волочения и в момент отбрасывания загрязнений.

Интенсивность механических воздействий щеток  $K_{щц}$  на сосок можно представить как отношение окружной скорости щетки ( $v_k$ ) к линейной скорости ( $v_m$ ) вертикального перемещения щеточного устройства вдоль соска. С учетом параметров устройства и режимов очистки

$$K_{щц} = \frac{\left[ \frac{\pi n}{60} \left( \frac{d_{\delta}}{2} + l_{\delta} \right) t_c + L_c \right]}{L_c}. \quad (10)$$

Подача на один пучок ворса  $\Delta L_n$ , показывает, через какое расстояние (шаг) будет наноситься очередной удар пучком ворса по эпидермису кожи соска

$$\Delta L_n = \frac{\Delta L_c}{Z_0} = 1000 \frac{v_m}{n_{щ}} Z_0, \quad \text{мм},$$

где  $Z_0$  – число пучков ворса по окружности щетки,  $n$  – частота вращения щетки,  $\text{мин}^{-1}$ .

Шаг пучков по длине барабана щетки определяется из выражения

$$b_{\Pi} = d_{\Pi} + 2l_B \cdot \text{tg} \gamma, \quad \text{мм}, \quad (11)$$

где  $d_{\Pi}$  – диаметр пучка ворса,  $m$ ,  $\gamma$  – угол отклонения ворсинок в пучке, град.

Шаг пучков ворса по окружности щетки можно выразить следующим образом

$$a_{\delta} = \pi \left( \frac{d_{\delta}}{2} + l_{\delta} \right) \cdot \frac{d_{\delta}}{Z_0 \Delta_{щ}}, \quad \text{мм}. \quad (12)$$

Эффективность очистки сосков во многом определяется эффективностью функционирования устройства подачи воды к обрабатываемым зонам. Для этого необходимо, чтобы пучок ворса обладал капиллярными свойствами, обеспечивая впитывание воды, подаваемой от форсунки и перенос ее на загрязнение.

Высота поднятия  $h$  жидкости в капиллярной полости, образуемой между ворсинками щетки, определяется (из уравнения Жюрена) уравновешиванием лапласового и гидростатического давлений и должна равняться длине ворса.

Площадь сечения капилляра  $S_{\text{кап}}$  определяется из выражения

$$S_{\text{кап}} = 0,215d_g^2$$

Объем жидкости  $V_{nn}$ , впитываемый щеткой содержащей  $n_n$  пучков ворса, будет равен

$$V_{nn} = n_n n_k 0,215d_g^2 l_g, \quad \text{см}^3, \quad (13)$$

где  $n_k$  – количество капилляров в пучке ворса.

Диапазон времени  $t_{\text{ен}}$  подачи жидкости составляет от 0,15...1,0 с, где минимальная продолжительность времени  $t_{\text{емин}}$ , равна времени одного полного оборота барабана щетки.

Форсунка должна обеспечивать расход жидкости, часть которой будет впитана и удержана пучками ворса

$$Q_{жс} = K_{\text{в}} V_{nn} / t_{\text{ен}}, \quad \text{м}^3/\text{мин}, \quad (14)$$

где  $K_{\text{в}}$  – коэффициент влагоудержания щеток.

$$K_{\text{в}} = V_{nn} / V_{\phi}$$

где  $V_{\phi}$  – объем жидкости, поданный форсункой на щетку за время  $t_{\text{ен}}$ .

Понятно, что чем рациональнее используется моющая жидкость, тем выше коэффициент  $K_{\text{в}}$ . Данный коэффициент зависит от параметров форсунки, скорости распыляемой жидкости и ее дисперсности, режимов работы щеток и их параметров. Эмпирически установлено,  $K_{\text{в}} = 1,5...2,5$ .

Местоположение форсунки выбирается с учетом того, чтобы она не касалась вымени коровы, поэтому необходимо ее разместить снизу и, кроме того, она должна находиться вне зоны  $A$  траектории полета отделенных частиц (рис.4). Последняя определяется экспериментально.

Половинный угол отклонения факела распыливания по диаметру щетки

$$\alpha_{\phi} = \text{arctg} \left( 0,865 K_{d\phi} \frac{D_{щ}}{H_{\phi}} \right), \quad \text{град}, \quad (15)$$

где  $K_{d\phi} = 0,7$  коэффициент, учитывающий сектор распыла факела по диаметру щетки.

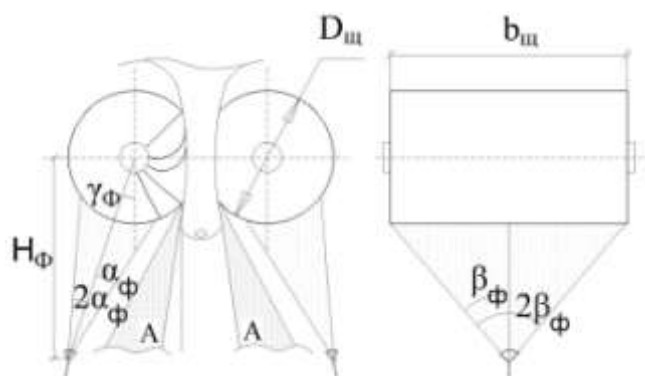


Рисунок 4. Расчетная схема.

$b_{щ}$  – ширина щетки,  $H_{\phi}$  – высота расположения форсунки,  $\alpha_{\phi}$  – половинный угол факела распыливания по диаметру щетки,  $\beta_{\phi}$  – половинный угол распыливания по ширине щетки,  $\gamma_{\phi}$  – угол расположения форсунки.

Половинный угол распыливания по ширине щетки

$$\beta_{\phi} = \text{arctg} \left( K_{b\phi} \frac{b_{щ}}{2H_{\phi} - D_{щ}} \right), \quad \text{град},$$

(16), где  $K_{b\phi} = 1,05$  коэффициент, учитывающий сектор распыла факела по ширине щетки.

Полученные выражения позволяют получить параметры углов комбинированной форсунки, образованной размещением друг за другом конически сходящимся насадком и расходящимся соплом, обеспечивающим формирование мелкодисперсного капельного

низконапорного факела с угловыми размерами  $2\alpha_\phi$  и  $2\beta_\phi$ .

Основные параметры форсунки определяются из уравнения Бернулли с учетом установленного выше значения  $Q_{жс}$ , пьезометрической высоты –  $h_{см}$ , диаметра трубопровода –  $d_T$ , нижеследующим образом.

Диаметр форсунки

$$d_\phi = 0,95 \sqrt{\frac{Q_{жс}}{\sqrt{gh_{см}}}}. \quad (17)$$

Давление жидкости  $P_2$  в подающем трубопроводе:

$$P_2 = \rho \left( 0,635 \frac{Q_{жс}}{d_m} - gh_{см} \right). \quad (18)$$

При допущениях постоянства модуля упругости, формы и шероховатости соска, линейной и угловой скоростей щеток и жесткости ворса, влагоудержания пучка ворса, подачи моющей жидкости на щетки, однородности физико-механических, адгезионных и когезионных свойств загрязнения на соске разработанный алгоритм функционирования и совокупность системы уравнений (1)...(18) представляют собой математическую модель, устанавливающую зависимости параметров загрязненного соска и конструктивно-режимных параметров устройства.

Полученные зависимости позволяют определить технические требования и рациональные параметры устройства, обеспечивающие повышение эффективности очистки сосков вымени коров от загрязнений.

**Третья глава посвящена разработке программы, методик и экспериментальных установок для проведения исследований.** Программа экспериментальных исследований включает:

- выбор материала образца искусственного соска;
- определение крутящего момента привода щеточного устройства;
- определение силы упругости пучков ворса, воздействующих на сосок, при повороте барабана щеточного устройства;
- определение частоты вращения сухих и увлажненных щеток в зависимости от давления питания пневмомотора при различной площади поперечного сечения соска;
- определение окружного усилия, создаваемого ворсом щеток;
- определение способности ворса щеток впитывать моющую жидкость и примерной расходной характеристики форсунки;
- определение количества загрязнения, переносимого с соска на ворс щеток;
- определение эффективности очистки сосков;
- определение чистоты выдаиваемого молока при применении базового и разработанного устройства;
- определение бактериальной обсемененности сосков вымени коров, ворса щеток и молока;
- определение болевых воздействий на животное при очистке соска разработанным устройством;
- исследование конструктивно-режимных параметров устройства очистки соска методом планирования эксперимента.

Для проведения исследований созданы специальные стенды (рис. 5) на базе станций FR 1110 и FR1130 (Festo), включающие: щеточное устройство для очистки сосков вымени коров; тензодатчики, операционный усилитель, мультиметр; регистратор частоты вращения с оптическим датчиком; весы VIBRA серии НТ-220СЕ с дискретностью – 0,0001г.; весы электронные ВТН-10 класса точности 0,02; образцы щеток, генератор горячего воздуха ЭТВ2/220; компрессор с блоком воздухоподготовки, образцовый манометр, а также счетчик расхода воздуха, печь муфельная учебная ПМ-10; регулятор температуры 2ТРМ-1.



Рисунок.5 Стенд для проведения экспериментальных исследований

Были разработаны манипулятор с пневмоприводом и устройство для формирования заданного угла поворота щетки. При этом использовались: набор образцов искусственных сосков из резины, дерева, кожи натуральной с глянцевой и замшевой поверхностями, оргстекла; семь щеток с размерами: диаметр ворсинки, мм /длина ворса, мм/количество ворсинок, шт. (04/30/50; 04/25/70; 04/20/60; 0,3/25/40; 02/50/70; 0,18/15/150; 0,15/40/160, выполненными из различных полимерных

и натуральных материалов.

Для оценки эффективности очистки сосков вымени коров используются показатели – коэффициент  $K_{зон}$ , характеризующий эффективность очистки соска, приведенный к начальному количеству загрязнения, а также коэффициент  $K_{зон}$ , приведенный к единице площади соска. Оба коэффициента выражаются в процентах:

$$K_{зон} = 1 - (m_{zn} - m_{zo}) / m_{zn} 100,$$

где  $m_{zn}$  и  $m_{zo}$  – соответственно, начальное и остаточное количество загрязнения, г.

$$K_{зон} = (1 - m_{n-30} / m_{n-3}) 100,$$

где  $m_{n-30}$  и  $m_{n-3}$  – соответственно, остаточное и начальное количество загрязнений на единицу площади соска, г/см<sup>2</sup>.

Методика определения чистоты молока проводилась в соответствии с ГОСТ 26809-86 «Молоко и молочные продукты. Правила приемки, методы отбора и подготовка проб к анализу» и ГОСТ 8218-89 «Молоко. Метод определения чистоты». Исследования проведены в октябре месяце 2013 года в КФХ «Кузмин» Калужской области, где 30 коров швицкой породы круглосуточно содержатся на выгульной площадке с грунтовым покрытием без навеса с отдыхом на подстилке из соломы.

Методика определения бактериальной обсемененности сосков вымени коров и ворса щеток и молока реализовывалась в соответствие с МУК 4.2.2884-11 «Методы микробиологического контроля объектов окружающей среды и пищевых продуктов с использованием петрифильмов». Анализ смывов проводился в лаборатории санитарии молока ГНУ ВНИИ ветеринарной санитарии, гигиены и экологии. Микробиологическая оценка уровня

бактериальной обсемененности молока проводилась на предприятии КФХ «Кузмин».

Методика определения болевых воздействий на животное основывалась на косвенной оценке стрессов путем автоматической регистрации в программе управления стадом, продолжительности времени отсутствия молока после подсоединения доильных стаканов и сбоев при их подключении при очистке соска базовым и разработанным устройствами.

**В четвертой главе** приведены результаты экспериментальных исследований устройства для очистки сосков вымени коров.

Анализ результатов исследований по выбору материала образца искусственного соска показал, что резина обладает наибольшим коэффициентом трения, натуральная кожа и дерево впитывают много влаги. При увлажнении

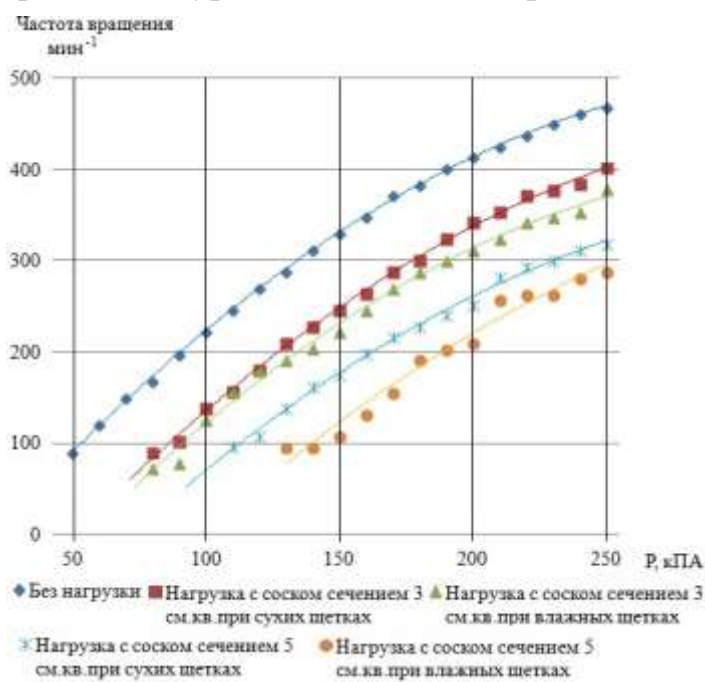


Рисунок 6. Изменение частоты вращения щеток от давления воздуха в пневмоприводе

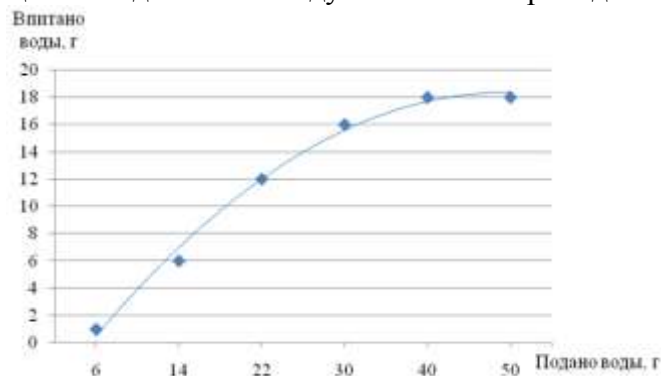


Рисунок 7. Количество жидкости, впитываемой щеткой

щеток во всех случаях, кроме оргстекла, увеличивается сила трения. Для дальнейших исследований целесообразно использовать оргстекло с шероховатой поверхностью.

Результаты исследований по определению крутящего момента привода щеточного устройства показывают, что его значение, в зависимости от давления питания от 150 до 250 кПа, увеличивается от 1,5 до 4,0 Н м.

Результаты исследований по определению силы упругости пучков ворса семи образцов показывают, что диапазон жесткости пучка ворса в пределах одного оборота барабана меняется в 2–3 раза. При этом диапазон жесткости образцов пучков ворса отличается до 10 раз. Предпочтительными являются параметры: диаметр ворсинки – 0,18–0,20 мм, длина ворса – 15–18 мм, количество ворса в пучке – 120–180. При этом модуль упругости капронового ворса  $E = 2,5 \times 10^4$  кг/см<sup>2</sup>.

Результаты исследования по определению зависимости частоты вращения щеток от давления питания пневмопривода указывают на ее нелинейный характер (рис.6). При увлажнении щеток сопротивление между ворсом и соском увеличивается, что приводит к снижению частоты их вращения. При увеличении



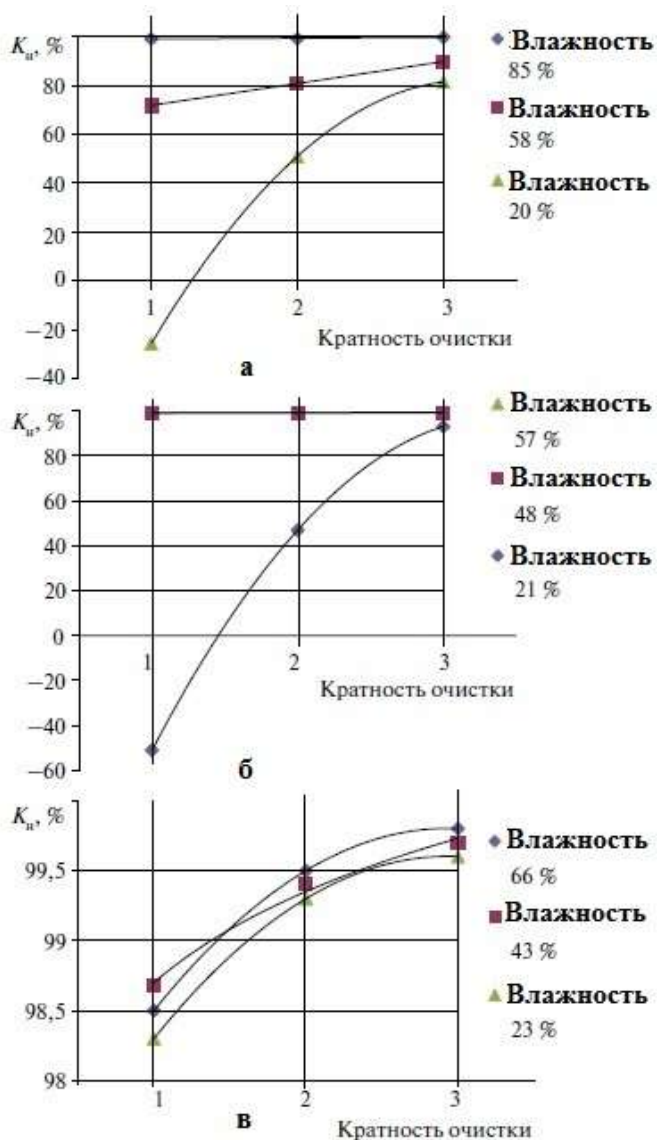


Рисунок 8. Изменение коэффициента  $K_{\text{оп}}$  в зависимости от материала загрязнений: а – навоз; б – навоз с подстилкой; в – суглинок

щетки 130 мм с расстояния 60-80мм. Расход жидкости – 10...15г/с. Его увеличение не приводит к увеличению количества воды на щетках и повышению эффективности очистки соска. Результаты исследований по определению количества загрязнений, переносимых с соска на ворс щеток показывают, что влажные щетки самоочищаются значительно лучше, чем сухие, как при удалении навоза, так и суглинка. При снижении частоты вращения значительно хуже с щеток удаляется суглинок, при чем на влажные щетки загрязнения налипают в два раза больше, чем на сухие.

Результаты исследований по определению эффективности очистки сосков от загрязнений представлены на рис. 8. Установлено, что наибольшая эффективность очистки соска вымени коровы от загрязнений в виде влажного навоза или навоза с подстилкой (солома) обеспечивается при реализации такого алгоритма, при котором щетки увлажняются водой в процессе очистки каждого соска коровы. При этом коэффициент эффективности очистки  $K_{\text{оп}}$ , загрязнения в виде жидкого навоза

площади контакта с соском частота вращения щеток снижается до 40%. Полученные закономерности позволяют регистрировать момент начала очистки соска, что происходит при подводе к его кончику, момент достижения щетками основания соска у дна вымени и момент окончания очистки после выхода щеток с кончика соска, что необходимо для управления процессом очистки. Установлено, что окружное усилие, создаваемое ворсом щеток, в рабочем диапазоне давлений питания пневмопривода меняться на 40-50 %.

Исследования показывают, что пучки ворса должны быть выполненными из материалов, обладающих капиллярными свойствами (рис.7). Представляют интерес щетки из капроновой лески с параметрами: диаметр ворсинки – 0,18 мм, длина ворса – 15 мм, количество ворса в пучке – 150 шт., диаметр щетки – 60 мм, длина щетки – 120 мм, количество пучков по длине – 16 шт., по окружности – 18 шт. При этом максимальное количество воды, впитанное щеткой 18г, происходит при подаче через разработанную форсунку 30...40г. Форсунка должна обеспечивать распыление струи воды прямоугольного сечения на ширину

влажностью 85%, составляет 99,8%. Очистку сосков от твердых загрязнений в виде высохшего навоза или навоза с подстилкой (солома) целесообразно проводить в два цикла с размачиванием загрязнений. Загрязнения в виде суглинка целесообразно удалять при наибольшей подаче моющей жидкости на щетки.

Для эффективной очистки сосков необходимо формирование регулируемых параметров: частоты вращения щеток и количества подаваемой жидкости, в зависимости от материала и агрегативного состояния загрязнения.

Диаметр щетки и, соответственно, длина ворса также влияют на эффективность очистки. При увеличении диаметра щетки уменьшается зона соска, на которую воздействует ворс, выходящий с ускорением из зацепления с соском, что приводит к снижению эффективности удаления загрязнений. Ограничением по уменьшению диаметра щетки и, соответственно, длине ворса, является диаметр соска, который должен быть сжат ворсом при очистке.

Результаты исследований по оценке качества очистки сосков, щеток и молока представлены в табл.1.

Таблица 1 – Оценка качества очистки сосков, щеток и молока

Показатели	Известный алгоритм		Разработанный алгоритм	
	Сосок	С выменем	Сосок	С выменем
Смывы, КОЕ/куб. см				
Сосок	$45 \times 10^3$	$125 \times 10^3$	$47,5 \times 10^1$	$6,5 \times 10^3$
Щетки	$153 \times 10^1$	$5 \times 10^3$	$3 \times 10^1$	$105 \times 10^1$
Молоко, к-во частиц, шт	4,22±0,45		0,5±0,1	
Молоко, КОЕ/куб.см.	$104 \times 10^3$		$45 \times 10^3$	

При этом молоко, которое согласно ГОСТ 8218-89 относилось ко второй группе чистоты, стало относиться к первой, т.е. наилучшей группе чистоты молока Установлено, что при очистке основания соска щетки переносят загрязнение с вымени на сосок. В связи с этим, здесь очистку необходимо проводить фиксировано, в заданном интервале времени.

Анализ данных продолжительности времени отсутствия молока после подсоединения доильных стаканов и сбоев показал отсутствие изменений, что в свою очередь свидетельствует об отсутствии болевых воздействий, стрессов и торможении рефлекса молокоотдачи при применении разработанного устройства с расчетными конструктивно-режимными параметрами.

Для определения степени влияния конструктивно-режимных параметров устройства на эффективность удаления загрязнений с сосков вымени коров применен статистический метод планирования эксперимента. Среди восьми исследуемых переменных выделены две группы. К первой группе переменных отнесены четыре управляемых технологических параметра:  $n$  – частота вращения щеток (170, 320, 470), мин<sup>-1</sup>;  $Q$  – расход моющей жидкости (120, 160, 200), мл/мин;  $\Delta t$  – продолжительность очистки каждого из 4-х сосков (6, 8, 10), с;  $x$  – состояние увлажнения щеток, варьируется на трех уровнях: сухие щетки (исполнение 1), щетки, увлажняемые перед очисткой соска (исполнение 2), щетки, увлажняемые во время очистки (исполнение 3). Ко второй группе переменных отнесены контролируемые физиологические параметры и параметры, зависящие от условий



содержания животных:  $s$  – площадь поперечного сечения соска (3,0; 4,5; 6,0) см<sup>2</sup>;  $M$  – материал загрязнения (качественный параметр) варьирует на трех уровнях: навоз, навоз с подстилкой, суглинок;  $W$  – влажность материала загрязнения (20, 50, 80), %;  $m_0$  – начальная масса загрязнений на единице площади поверхности соска, г/см<sup>2</sup>. Уравнение регрессии, полученное с помощью программы «Statistika» имеет вид:

$$K = 8,66x_4 - 12,5x_5 + 12,0x_6 + 18,9x_7 + 46,5x_6^2 + 21,0m_0 - 0,83m_0^2.$$

Установлено, что в заданном диапазоне режимов очистки, щеточное устройство с расчетными параметрами, обеспечивает эффективную очистку соска во всех случаях загрязнений. Подтверждено, что наибольшее влияние оказывает увлажнение щеток перед очисткой каждого соска ( $x_4$ ), что предусмотрено в предлагаемом алгоритме.

Результаты экспериментальных исследований подтверждают адекватность разработанной математической модели и расчетных параметров разработанного устройства.

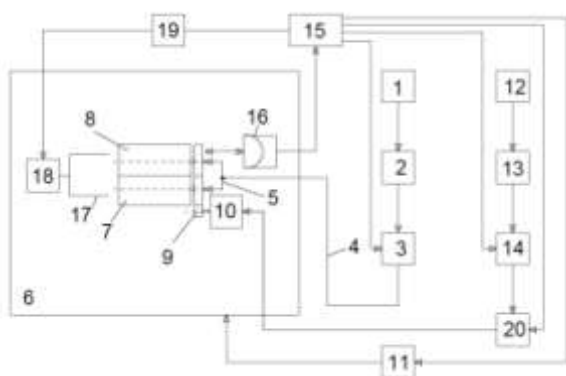


Рисунок 9. Устройство для очистки сосков вымени коров

**В пятой главе** приведено описание разработанного устройства (рис. 9). Оно содержит резервуар для моющей жидкости – 1, насос – 2, гидравлический клапан – 3, трубопровод – 4, распределитель жидкости – 5, устройство для очистки сосков – 6, две вращающиеся навстречу друг-другу соприкасающиеся ворсом щетки 7 и 8, шестеренчатый привод – 9, мотор – 10, манипулятор – 11, компрессор – 12, ресивер – 13, пневматический клапан – 14, блок управления – 15, датчик частоты

вращения – 16, стряхиватель – 17, пневмопривод – 18, пневматический клапан – 19, задатчик давления сжатого воздуха – 20. Пневмопривод выбран серийный, с крутящим моментом 4,0-5,0 Н м. Рациональными параметрами устройства являются: диаметр щетки – 60 мм, длина щетки – 120-130 мм, частота вращения щетки 300-400 мин<sup>-1</sup>, количество пучков по длине – 15-20 шт., по окружности 16-20 шт., давление моющей жидкости – 0,2 МПа.

Разработан алгоритм устройства очистки сосков вымени коровы. Он обеспечивает последовательную влажную очистку каждого соска и основания вымени с последующим их высушиванием, на основе контроля частоты вращения щеток, для определения начала очистки кончика соска, фиксированной очистки основания соска и завершения очистки соска вымени коровы (рисунок 10).

**В шестой главе** проведена оценка экономической эффективности устройства. Разработанное устройство обеспечивает повышение качества молока, в частности, при его применении получается молоко только 1-ой группы чистоты, снижается бактериальная обсемененность молока, а также сокращается расход фильтров тонкой очистки, что особенно отмечается в весенний и осенний периоды года. Прибыль увеличивается на 207750 руб. Срок окупаемости – 0,5 года.

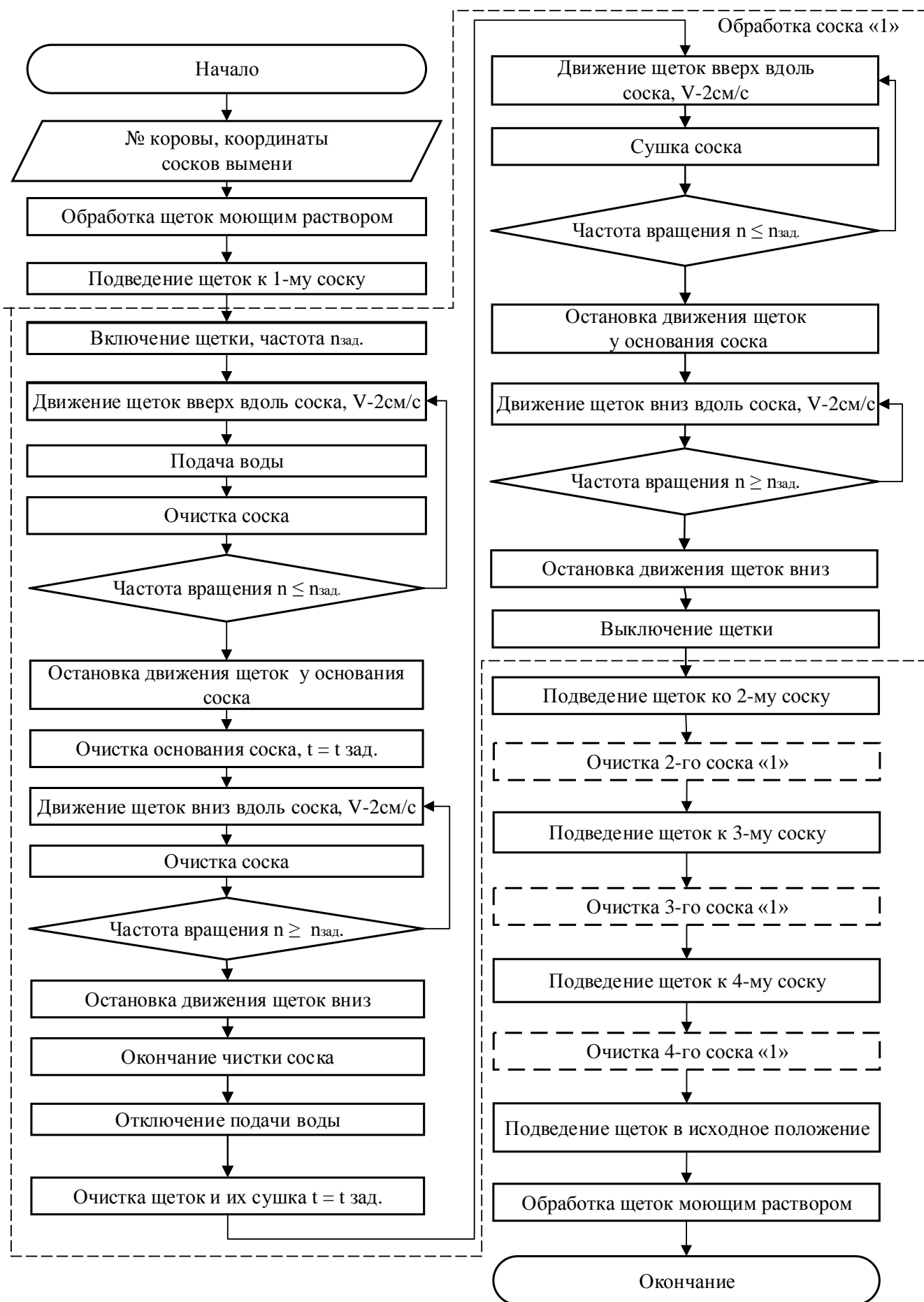


Рисунок 10. Алгоритм функционирования устройства очистки сосков вымени коров.

## Основные выводы

1. Анализ работы автоматических доильных установок в условиях молочной фермы, способов подготовки сосков к доению, а также причин образования загрязнений показал, что для преддоильной очистки сосков от значительных загрязнений, образующихся, в частности, при содержании коров на выгульных площадках в весенний и осенний периоды, целесообразно применение щеточных устройств, требующих усовершенствования.

2. Разработана математическая модель очистки сосков вымени коров щеточным устройством, устанавливающая соотношение между параметрами воздействия ворса на загрязненный сосок, увлажнения щеток, щеточного устройства и режимами очистки, с учетом влагоудерживающей способности ворса и параметров форсунки.

3. На основании теоретических и экспериментальных исследований установлены конструктивно-режимные параметры очистки сосков вымени коров разработанным устройством: диаметр ворсинки и ее длина, количество ворса в пучке, диаметр щетки, ширина щетки, модуль упругости ворса, частота вращения щетки, крутящий момент, количество пучков по ширине и окружности щетки, параметры форсунки и давление моющей жидкости.

4. Разработан алгоритм функционирования устройства очистки сосков вымени коров, обеспечивающий последовательную влажную очистку каждого соска и фиксированную очистку его основания с последующим удалением остатков влаги, на основе контроля частоты вращения щеток для определения момента начала очистки кончика соска, фиксированной очистки его основания и завершения очистки соска.

5. Для реализации предложенного алгоритма, результатов теоретических и экспериментальных исследований разработано и прошло производственную проверку устройство для преддоильной очистки сосков вымени коров в составе: щеточное устройство с пневмоприводом, устройство увлажнения щеток с форсункой для подачи моющей жидкости, устройство для очистки ворса щеток от загрязнений и его подсушивания, устройство для контроля частоты вращения щеток и блок управления.

6. При применении разработанного устройства бактериальная обсемененность на ворсе щеток снижается в 30-50 раз и составляет 30,0 КОЕ в 1 см<sup>3</sup> смыва; на поверхности соска в среднем понижается с 45,0 тыс. до 470 КОЕ в 1 см<sup>3</sup> смыва; у молока снижается в 2-3 раза и достигает 40-50 тыс. КОЕ в 1 см<sup>3</sup>. Количество механических частиц в пробе снижается с 4 до 1 шт.

7. Оценка технико-экономических показателей применения разработанного устройства для преддоильной очистки сосков вымени коров показывает его эффективность за счет снижения бактериальной обсемененности и механических загрязнений молока. Прибыль увеличивается на 207750 руб. Срок окупаемости – 0,5 года.

**Основные результаты исследования изложены в следующих работах:**

- 1.** Лапкин А.Г. Устройство для преддоильной обработки сосков вымени коров. [Текст] / Ю.Г. Иванов, А.Г. Лапкин // Техника в сельском хозяйстве. – 2014. – №2 – С.10–12.
- 2.** Лапкин А.Г. Исследование устройства для преддоильной очистки сосков вымени коров. [Текст] / Ю.Г. Иванов, А.Г. Лапкин // Механизация и электрификация сельского хозяйства. - 2014 - №4 - С.11-14.
- 3.** Лапкин А.Г. Исследования качества очистки вымени коров от загрязнений. [Текст] / Ю.Г. Иванов, М.И. Белов, А.Г. Лапкин // Механизация и электрификация сельского хозяйства. - 2014 - №5 - С.30-31.
- 4.** Патент № 143230 РФ МПК А01J7/00. Установка для автоматической преддоильной обработки сосков вымени коров./ Иванов Ю.Г., Лапкин А.Г.; - Заяв. 01.04.2014; Оpubл. 20.07.2014. Бюл. №20
- 5.** Патент № 148215 РФ МПК А01J7/00. Установка для автоматической преддоильной обработки сосков вымени коров./ Иванов Ю.Г., Лапкин А.Г.; - Заяв. 01.08.2014; Оpubл. 27.11.2014. Бюл. №33
- 6.** Лапкин А.Г. Повышение эффективности очистки сосков вымени коров при применении щеточных устройств на автоматических установках. [Текст] / Ю.Г. Иванов, А.Г. Лапкин // Вестник Всероссийского НИИ механизации животноводства - 2014 - №4 (16)- С.94-95.
- 7.** Лапкин А.Г. Усовершенствованное устройство для преддоильной обработки сосков вымени коров на роботизированных фермах с выгулом животных на площадках и пастбищах. [Текст] / Иванов Ю.Г., Лапкин А.Г. // Труды 9-ой Международной научно-технической конференции "Энергообеспечение и энергосбережение в сельском хозяйстве" (21-22 мая 2014 г. Москва, ГНУ ВИЭСХ), в 5-ти частях, часть 3 «Энергосберегающие технологии в животноводстве и стационарной энергетике». –Москва, ГНУ ВИЭСХ, –С.75-78.
- 8.** Лапкин А.Г. Сравнительная оценка энерго-трудо и эксплуатационных затрат при переводе коров с доения в молокопровод на робот «Lely Astronaut». [Текст] / Иванов Ю.Г., Лапкин А.Г. // Вестник Всероссийского НИИ механизации животноводства №3(11), 2013. –С.188-190.
- 9.** Лапкин А.Г. Влияние роботизированного доения на продуктивность коров. [Текст] / Иванов Ю.Г., Лапкин А.Г. // Материалы V Международной научно-практической конференции преподавателей, молодых ученых, аспирантов и студентов 19-19 апреля 2013 г. "Инновационные процессы в АПК", РУДН, 2013. – С. 115-116.
- 10.** Лапкин А.Г. Изменение зоотехнических показателей производства молока при переводе коров на роботизированное доение. [Текст] / Иванов Ю.Г., Лапкин А.Г. // Материалы Всероссийской конференции студентов, аспирантов и ученых с международным участием 13 декабря 2012г. «Основные направления развития техники и технологии в АПК, легкой и пищевой промышленности», г. Княгинино, НГИЭИ, 2013. –С.159-163.
- 11.** Лапкин А.Г. Состояние и перспективы применения доильных роботов в России. [Текст] / А.Г. Лапкин // Сборник студенческих научных работ. Вып.17. М.: Изд-во РГАУ-МСХА, 2011. –С.395–399.