

На правах рукописи

НИГМАТОВ Ленар Гамирович

**РАЗРАБОТКА КОНСТРУКЦИИ И ОБОСНОВАНИЕ
ПАРАМЕТРОВ УСТРОЙСТВА ДЛЯ МЕХАНИЧЕСКОЙ
ОЧИСТКИ КОЖНОГО ПОКРОВА КРС**

Специальность 05.20.01 – Технологии и средства механизации
сельского хозяйства

Автореферат

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Оренбург, 2015

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Оренбургский государственный аграрный университет» (ФГБОУ ВПО Оренбургский ГАУ)

Научный руководитель

Карташов Лев Петрович,
заслуженный деятель науки и техники РФ,
доктор технических наук, профессор кафедры
«Механизация технологических процессов
в АПК» ФГБОУ ВПО Оренбургского ГАУ

Официальные оппоненты:

Иванов Юрий Григорьевич,
доктор технических наук, профессор,
заведующий кафедрой «Автоматизация и ме-
ханизация животноводства» ФГБОУ ВО «Рос-
сийский государственный аграрный универси-
тет – МСХА имени К.А. Тимирязева»;

Поцелуев Александр Александрович,
доктор технических наук, профессор,
заведующий кафедрой «Механизация
и технология производства и переработки
с/х продукции» Азово-Черноморского
инженерного института ФГБОУ ВПО
«Донской государственный аграрный
университет» в г. Зернограде

Ведущая организация:

ФГБОУ ВПО «Саратовский государственный
аграрный университет имени Н.И. Вавилова»

Защита состоится 25 июня 2015 г. в 10.00 на заседании диссертационного совета Д 220.051.02 при ФГБОУ ВПО «Оренбургский государственный аграрный университет» по адресу: 460014, г. Оренбург, ул. Коваленко, д. 4 корпус 3, ауд. 500.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВПО Оренбургский ГАУ. Объявление о защите и автореферат размещены на сайте ФГБОУ ВПО Оренбургский ГАУ www.orensau.ru и на сайте Федеральной службы по надзору в сфере образования и науки Минобрнауки России www.vak.ed.gov.ru.

Автореферат разослан «___» _____ 2015 г.

Ученый секретарь диссертационного
совета доктор технических наук,
профессор

В.А. Шахов

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. В ряду актуальных вопросов, стоящих перед агропромышленным комплексом и определяющих основные направления его развития, повышение эффективности технологических процессов получения и переработки продукции животноводства является одним из наиболее значимых.

Среди технологических процессов животноводства, являющихся представителями работы системы «человек – машина – животное», большой интерес на сегодняшний день представляет механическая очистка кожного покрова КРС, которая является трудоемкой и опасной для исполнителя операцией.

Молочное и мясное скотоводство является одной из отраслей сельского хозяйства, занимающей первую позицию по разнообразию производимой продукции. Увеличение продукции животноводства, повышение ее качества наряду с увеличением материально-производственной базы и улучшением породности скота связано с решением ряда вопросов по осуществлению ветеринарно-санитарных мероприятий на животноводческих фермах и комплексах.

Степень разработанности темы. Разработке устройств для механической очистки и санитарной обработке кожного покрова КРС посвящено много работ В.Е. Соколова, Е.А. Богданова, В.Ф. Королева, Л.П. Карташова, Ю.Г. Иванова, А.А. Поцелуева, В.Ф. Ужика, Д.Б. Клименко, В.Д. Позднякова, П.В. Зимина, Е.А. Арзумяна, А.И. Маркушина, В.А. Мухина и др.

Однако предложенные конструкции устройств для механической очистки кожного покрова не обеспечивают приемлемые условия очистки кожного покрова. Отсутствует система очистки и накопления грязи, устройства обладают слабой механической прочностью, не предусмотрена система противоклещевых обработок в осенне-весенние периоды.

Цель исследования. Совершенствование технических средств механической очистки кожного покрова КРС, обеспечивающих повышение продуктивности животных и качество получаемой продукции.

Объект исследования. Процесс механической очистки кожного покрова КРС и техническое средство его обеспечения.

Предмет исследования. Закономерности взаимодействия технического устройства с кожным покровом животного в зависимости от конструктивных и эксплуатационных характеристик предложенного устройства.

Методика исследований. В ходе теоретических исследований были использованы методы математического анализа, теоретической механики, сопротивления материалов, гидравлики, математического и компьютерного моделирования. Результаты экспериментальных данных обрабатывались в соответствии с общепринятыми методиками планирования многофакторного эксперимента с использованием программных продуктов Microsoft Excel, MathCAD10, Statistica 10 Enterprise.

Научная новизна:

– получены аналитические зависимости для обоснования конструктивно-режимных параметров устройства для механической очистки кожного покрова животного;

- разработана математическая модель рабочего процесса устройства для механической очистки кожного покрова животного;
- установлены закономерности изменения качества очистки устройством в зависимости от конструктивных и эксплуатационных характеристик устройства.

Практическая ценность:

- конструкция устройства для очистки кожного покрова КРС (№ заявки на изобретение 2013153789, положительное решение);
- результаты теоретических и экспериментальных исследований по обоснованию параметров устройства для механической очистки кожного покрова КРС;
- алгоритм программы для расчета силового взаимодействия очищающих элементов разработанного устройства с поверхностью кожного покрова (свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2015611591);
- значения режимных параметров разработанного устройства в процессе очистки кожного покрова КРС, установленные в ходе экспериментальных исследований, позволяют увеличить продуктивность животных и качество получаемой продукции.

Вклад автора в проведенное исследование. Разработана математическая модель процесса очистки устройством для механической очистки кожного покрова КРС, получены аналитические зависимости, характеризующие качество очистки кожного покрова, влияющие на продуктивность животных и качество получаемой продукции

Внедрение. Экспериментальные исследования проводились в лабораториях кафедры «Механизация технологических процессов в АПК» и «Электрооборудование и электротехнологии» Оренбургского ГАУ; устройства для механической очистки кожного покрова КРС внедрены в хозяйствах Оренбургской области: СПК «Матвеевский», СХК «колхоз имени Дзержинского», «ГКФХ Федоров В.П.» Матвеевского района, ООО «Заилечье» Соль-Илецкого района.

Апробация. Основные положения диссертационной работы были доложены, обсуждены и одобрены на ежегодных международных научно-практических конференциях ГНУ ВНИИМЖ Россельхозакадемии (Москва, 2013, 2014 гг.), постоянно действующем семинаре кафедры «Механизация технологических процессов в АПК» Оренбургского ГАУ (Оренбург 2012, 2013, 2014 гг.), X международной научно-практической конференции «Агропромышленный комплекс: состояние, проблемы перспективы» (Пенза 2014 г.), Международной заочной научно-практической конференции «Перспективы развития науки и образования» (Москва, 2014 г.), II международной научно-практической конференции «Образование и наука в современных условиях» (Чебоксары, 2015 г.).

Научные положения, выносимые на защиту:

- конструкции разработанных устройств для механической очистки кожного покрова КРС;
- теоретические положения по обоснованию параметров устройства с учетом влияния физико-механических и технологических свойств очищающих элементов в момент взаимодействия с загрязнением;

– результаты экспериментальных исследований в лабораторных и производственных условиях, позволяющие определить оптимальные конструктивно-режимные параметры устройства для очистки кожного покрова КРС.

Обоснованность и достоверность научных положений подтверждена высокой сходимостью результатов теоретических и экспериментальных исследований, положительными результатами опытов и производственных испытаний, разработанных технологических решений и технических средств.

Публикации. По материалам диссертации опубликованы десять статей, из них пять в журналах, рекомендованных ВАК Министерства образования и науки РФ. Получено положительное решение о выдаче патента РФ и свидетельства о государственной регистрации программы для ЭВМ.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, пяти глав, общих выводов, списка использованной литературы и приложений. Работа изложена на 143 страницах машинописного текста, включая список литературы из 112 наименований, 10 таблиц, 57 рисунков, 10 приложений.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении представлена краткая характеристика состояния вопроса, обоснована актуальность темы исследований и изложены основные научные положения, выносимые на защиту.

В первой главе «Анализ состояния изучаемого вопроса» представлен анализ известных результатов исследований и известных технических решений, их систематизация и классификация.

Одним из перспективных направлений в совершенствование процесса очистки кожного покрова КРС является создание устройства для механической очистки с возможностью проведения влажной, сухой, комбинированной обработки кожного покрова. **Для достижения поставленной цели в работе сформулированы следующие задачи.**

1. Провести анализ устройств для механической очистки кожного покрова КРС и определить перспективные направления по совершенствованию процесса очистки кожного покрова.

2. Теоретически и экспериментально обосновать параметры рабочего процесса устройств для механической очистки кожного покрова КРС и разработать конструктивно-технологическую схему устройств для механической очистки кожного покрова КРС.

3. Разработать методики по определению: усилия удержания загрязнения на кожном покрове КРС, отрыва волос с кожного покрова КРС, оценки качества работы устройств для механической очистки кожного покрова, основных энергетических и эксплуатационных характеристик устройств.

4. Провести лабораторные и производственные испытания предложенных технических решений, дать сравнительную характеристику разработанных устройств и обосновать экономическую эффективность выбранного устройства.

Во второй главе «Теоретическое обоснование конструктивно-технологических параметров устройства для очистки кожного покрова КРС» приведено описание, рабочий процесс разработанного устройства и рассмотрен рабочий процесс устройства для очистки кожного покрова КРС.

Моделирование физического процесса очистки кожного покрова начали с теоретического обоснования взаимодействия очищающих элементов с загрязнением кожного покрова. При проведении исследований были рассмотрены работы по теории щеточных устройств для решения различных задач А.Г. Лепеша, В.Ф. Ужика, Д.Б. Клименко, Ю.Г. Иванова, А.Г. Лапкина, Л.М. Гусева, В.А. Мухина, М.К. Дусенова, А.В. Михайлова.

В исследованиях В.Ф. Ужика, Д.Б. Клименко, Ю.Г. Иванова, А.Г. Лапкина отмечено, что при определенных воздействиях очищающего элемента на кожный покров животное начинает испытывать болевые ощущения, это может стать причиной стрессового состояния животного и повлиять на его продуктивность. Чтобы избежать этого, необходимо выполнение условия, при котором силовое воздействие механического устройства будет меньше усилия, при котором возникнут болевые ощущения, но больше усилия удержания загрязнения:

$$F_{у.з.}^{max} \leq F_{устр.} \leq F_{бол.ощ.} \quad (1)$$

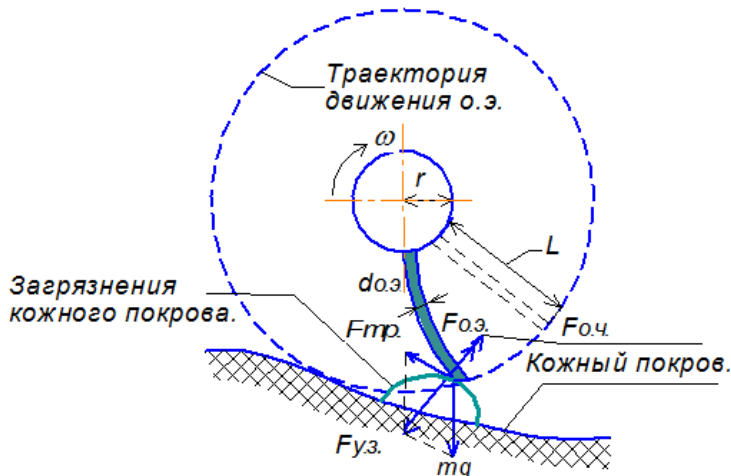


Рис. 1 – Схема взаимодействия очищающего элемента с загрязнением

где $F_{о.з.}$ – усилие, создаваемое одним очищающим элементом, Н;

$F_{о.ч.}$ – усилие, затрачиваемое на отрыв частицы загрязнения, Н;

$F_{тр.}$ – сила трения очищающего элемента загрязнения, Н;

m – масса загрязнения, кг;

$d_{о.э.}$ – диаметр одного очищающего элемента, м;

ω – частота вращения вала, c^{-1} ;

L – длина очищающего элемента, м.

Усилие, создаваемое одним очищающим элементом (рис. 1), будет складываться из двух составляющих: силы упругости и усилия отрыва частицы загрязнения с поверхности кожного покрова:

$$F_{о.з.} = F_{упр} + F_{о.ч.} \quad (2)$$

Используя формулы А.Н. Верещагина, найдем величину прогиба очищающего элемента (рис. 2):

$$\delta_{см} = \int \frac{M(u) \cdot M'(u)}{EJ_x} du, \quad (3)$$

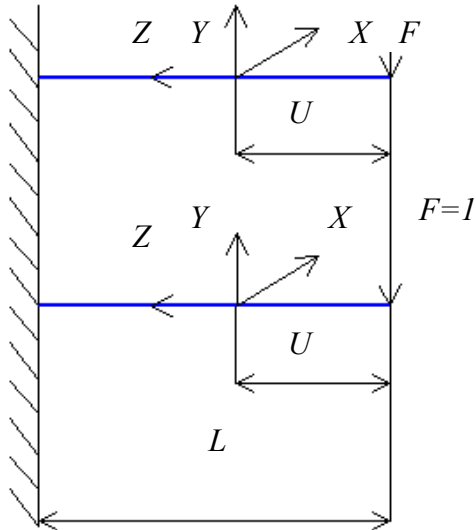


Рис. 2 – Определение величины прогиба одного элемента

где $M(U)$ – аналитическое выражение изгибающего момента от всей внешней нагрузки;
 $M'(U)$ – аналитическое выражение изгибающего момента при снятой внешней нагрузки;
 U – переменная величина, принимающая значение от 0 до L одного очищающего элемента.

$$\delta_{cm} = \int_0^L \frac{(F \cdot U) \cdot (1 \cdot U)}{EJ_x} du = \frac{F}{EJ_x} \cdot \int_0^L \frac{U^2 du}{EJ_x} =$$

$$= \frac{F}{EJ_x} \cdot \frac{L^3}{3} = \frac{FL^3}{3EJ_x} \Rightarrow$$

$$F_{унп}^{cm} = \frac{\delta_{ст} 3EJ_x}{L^3}, \quad (4)$$

где δ_{cm} – прогиб очищающего элемента, м;

E – модуль упругости материала Па;

J_x – момент инерции сечения очищающего элемента, м⁴;

L – длина очищающего элемента, м.

$$J_x = \frac{\pi d_{о.э.}^4}{64}. \quad (5)$$

Из этого выражения определяем момент инерции сечения очищающего элемента, где $d_{о.э.}$ – диаметр одного очищающего элемента, м.

Как следует из описания работы устройства для обработки кожного покрова, очистка происходит посредством счесывания загрязнения очищающим элементом, поэтому необходимо определить усилие, развиваемое очищающим элементом при взаимодействии с обрабатываемой поверхностью $F_{унп}^{cm}$ (рис. 3):

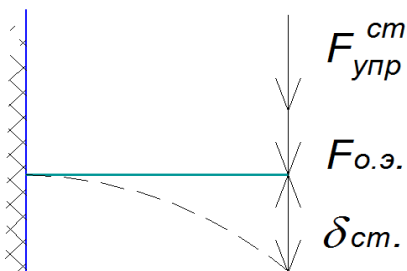


Рис. 3 – Определение усилия одного очищающего элемента

$$F_{унп}^{cm} = \frac{\delta_{cm} 3E\pi d_{о.э.}^4}{64 L^3}. \quad (6)$$

В рассмотренной нами теории учитывается, что очищающий элемент создает динамический удар по поверхности загрязнения, поэтому находим динамический коэффициент удара k_d :

$$k_d = \sqrt{1 + \frac{(\omega \cdot (L+r))_1^2 + v_2^2}{g \cdot \delta_{cm}}}, \quad (7)$$

где v_2 – скорость перемещения насадки устройства, м/с;

g – ускорение свободного падения, м/с²;

ω – угловая частота вращения вала очищающих элементов, с⁻¹;

r – радиус вала очищающих элементов, м.

Далее по формуле находим силу упругости $F_{унп}$:

$$F_{\text{упр}} = \frac{\delta_{cm} 3 E \pi d^4}{64 L^3} \cdot \sqrt{1 + \frac{(\omega \cdot (L+r))_1^2 + v_2^2}{g \cdot \delta_{cm}}} \quad (8)$$

Затем определяем силу, необходимую для отрыва частицы. Она будет складываться из двух составляющих: силы трения F_{mp} и усилия удержания загрязнения на кожном покрове $F_{y.z.}$:

$$F_{o.ч.} = F_{mp} + F_{y.z.}, \quad (9)$$

где $F_{y.z.}$ – усилие удержания загрязнения на поверхности кожного покрова, Н;

$$F_{mp} = fN, \quad (10)$$

где f – коэффициент трения устройства о загрязнение; N – реакция опоры.

Для расчета количества ворсинок, взаимодействующих с загрязненным участком кожного покрова при рабочем ходе очищающего элемента, разберем простейшую геометрическую задачу вписанного треугольника в окружность, откуда выразим длину хорды L (рис. 4).

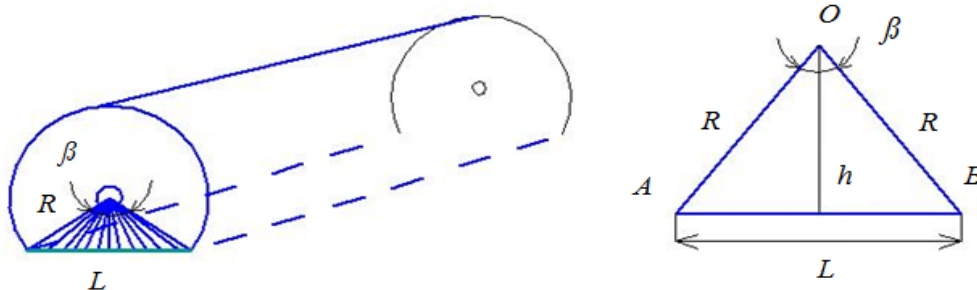


Рис. 4 – Определение количества очищающих элементов, входящих в контакт с загрязнением

Треугольник ABO равнобедренный, т.к. $OA = OB = R$.

Следовательно, длина хорды AB равняется искомой длине L :

$$AO^2 = AC^2 - CO^2 \quad (11)$$

$$AO = \sqrt{R^2 - h^2} \quad (12)$$

Если известен радиус окружности R и длина меньшей стягивающей дуги AOB (O – точка на окружности между точками A и B) (рис. 4), тогда

$$L = AB = 2 AO = 2 \sqrt{R^2 - h^2}. \quad (13)$$

Подставив в выражение, полученное ранее для длины хорды, получим:

$$L = 2 \sqrt{R^2 - h^2}. \quad (14)$$

Зная длину очищающего элемента (0,2 м), определяем количество одновременно работающих очищающих элементов n :

$$n = 0,4 \sqrt{R^2 - h^2}. \quad (15)$$

Тогда окончательно получаем усилие, которое затрачивает устройство на удаление загрязнения $F_{устр}$:

$$F_{устр} = \frac{\delta_{cm} 3 E \pi d^4}{64 L^3} \cdot \sqrt{1 + \frac{(\omega \cdot (L+r))_1^2 + v_2^2}{g \cdot \delta_{cm}}} \cdot n_{o.э} \cdot K_3, \quad (16)$$

где n – количество очищающих элементов, шт., K_3 – коэффициент запаса = 1,1.

Также в этой главе мы обозначили основные технологические, зоотехнические, эксплуатационные требования к устройству для механической обработки

кожного покрова. Полученные теоретические зависимости позволили разработать конструкцию устройства для механической обработки кожного покрова с приводом от вакуумпровода доильной установки (рис.5), включающую механическую очистку с применением влажной обработки от микроорганизмов, клещей, внешних раздражителей.

Устройство для обработки кожного покрова работает следующим образом. При подключении пылегрязесборника 12 через всасывающий патрубок 10 к вакуумпроводу доильной установки в камере с очищающими элементами создается разрежение.

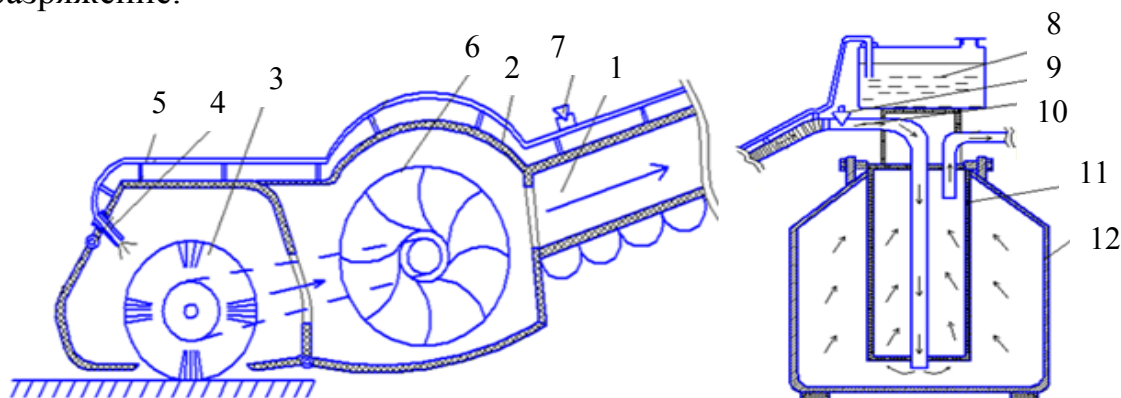


Рис. 5 – Устройство для механической очистки кожного покрова КРС с приводом от вакуумпровода доильной установки:

- 1 – рукоятка насадки – воздушный патрубок, 2 – насадка, 3 – вал с очищающими элементами, 4 – распылители, 5 – гибкий трубопровод подачи раствора, 6 – лопастной ротор, 7 и 9 – запорная арматура, 8 – емкость для жидкости, 10 – всасывающий патрубок, 11 – фильтр, 12 – пылегрязесборник

В результате чего лопастной ротор 6, насаженный на вал лопастной турбины, начинает вращаться, приводя во вращение посредством ременной передачи вал с очищающими элементами 3. Перемещая насадку, по поверхности кожного покрова животного происходит очистка кожи, а за счет воздействия щеточных элементов на кожный покров оказывается и массажное воздействие. Механические и органические загрязнения, отделенные от кожного покрова, попадают в сборник для пыли 12, перемещаясь под воздействием воздушного потока через насадку 2, шланг 5, где частично оседают на фильтре.

При применении ранее предложенного устройства расход воздуха соответствует 70 л/мин. Но вакуумный насос выкачивает из системы трубопроводов номинальную, т.е. паспортную производительность. Это происходит потому, что в каждой доильной установке в обязательном порядке имеется вакуумрегулятор, и если к вакуумной системе не подключен ни один потребитель или подключен потребитель вакуума с малым расходом воздуха, то насос все равно будет выкачивать из системы его паспортную производительность. Значит, расход электроэнергии будет номинальным, т.е. как при доении коров. В связи с учетом вышеизложенного нами было разработано устройство для очистки кожного покрова с приводом от электродвигателя (рис. 6). Задачей технического решения является улучшение санитарно-

гигиенических условий труда оператора, занимающегося чисткой животных, и обеспечение качественной очистки в труднодоступных местах кожного покрова животного с минимальными энергетическими расходами.

Устройство работает следующим образом. При нажатии на кнопку 9 электродвигатель 5 через ременную передачу 4 приводит во вращение очищающий элемент 3. В результате через выходное отверстие и сетчатый грязесборник 8 начинает прокачиваться воздух.

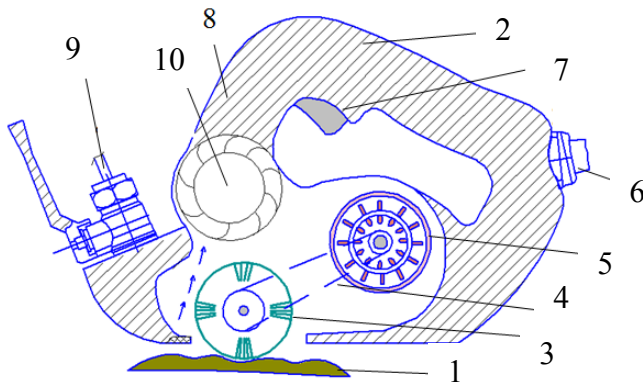


Рис. 6 – Устройство для очистки кожного покрова животных с приводом от коллекторного электродвигателя:

- 1 – загрязненный участок кожного покрова, 2 – корпус устройства, 3 – очищающий элемент, 4 – ременная передача, 5 – электродвигатель, 6 – электрическая проводка, 7 – кнопка включения, 8 – грязесборник, 9 – кран подачи жидкости, 10 – выходной патрубок

Когда очищающий элемент 3 войдет в соприкосновение с загрязненным участком кожного покрова животного 1, выделяющаяся при этом пыль и грязь будут увлекаться потоком воздуха и оседать внутри грязесборника 8. При необходимости выполнения влажной обработки кожного покрова в корпусе устройства 2 имеется кран подачи жидкости 9, благодаря которому регулируется необходимое количество поступающей жидкости. Таким образом, предотвращается распыление пыли и грязи в окружающем воздухе и тем самым обеспечиваются приемлемые санитарно-гигиенические условия труда оператора. Наличие крана подачи жидкости с распылителем способствует проведению влажной обработ-

ки кожного покрова специальными дезинфицирующими средствами.

В третьей главе «Программа и методика экспериментальных исследований» изложены основные положения и условия проведения экспериментов. Исходя из приведенных теоретических исследований и конкретных условий объекта исследования, нами составлена программа и методика экспериментальных исследований работы устройства для механической очистки кожного покрова КРС.

В качестве критерия оптимизации было выбрано качество очистки K , которое наиболее полно отражает эффективность работы устройства:

$$K = (1 - Q_1/Q_0) \times 100, \%$$

где Q_1 – остаточная загрязненность, г/см², Q_0 – начальная загрязненность, г/см².

Эффективность очистки определяли после обработки образца с загрязнением. Массу загрязнения наносили на образец с кожным покровом и взвешивали на весах, далее после процесса очистки взвешивали образец с кожным покровом. По проценту оставшегося загрязнения определяли эффективность процесса.

Методика лабораторных исследований включает в себя:

– определение усилия удержания волос на кожном покрове животного (определение болевого эффекта);

- определение усилия удержания различных видов загрязнений на кожном покрове;
- определение основных конструктивно-режимных параметров устройства, оказывающих существенное влияние на качество процесса очистки;
- проведение производственных испытаний устройства для дополнения и корректировки результатов теоретических исследований, связанных с определением его работы.

Лабораторные испытания устройства для очистки кожного покрова с приводом от вакуумпровода доильной установки проводились на кафедре «Механизация технологических процессов в АПК» Оренбургского государственного аграрного университета. В качестве обрабатываемой поверхности использовали набор образцов шкур крупного рогатого скота, по своим физико-механическим свойствам соответствующим показателям кожи КРС. Производственные исследования проводили на базе следующих хозяйств Оренбургской области: СПК «Матвеевский», СХК «колхоз имени Дзержинского», «ГКФХ Федоров В.П.» Матвеевского района.

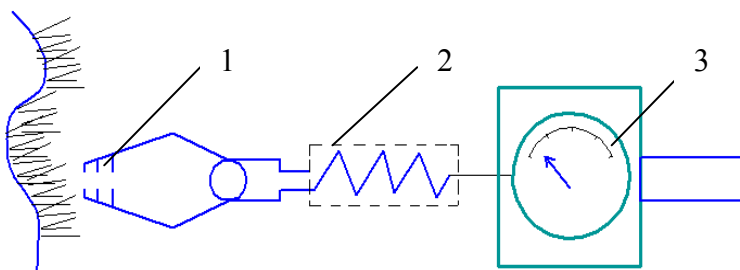


Рис. 7 – Устройство для определения усилия удержания (болевого порога) волос на кожном покрове

Методика определения усилия удержания волоса ($F_{\text{бол.оц}}, H$) реализована при помощи разработанного устройства (рис. 7), состоящего из фиксирующего элемента 1, динамометрического блока 2 и регистрирующего блока 3.

Предлагаемая методика заключается в следующем: устройство устанавливают на участок с кожным покровом, далее фиксирующий элемент 1 внедряют в волосяной покров животного на том участке кожи, на котором требуется определить искомую величину $F_{\text{уд.волос}}$. Затем оператор совершает натягивающее движение. Усилие, затрачиваемое на удержание силы, измеряется динамометрическим блоком 2 и фиксируется на регистрирующем блоке 3. Натягивающее движение продолжают до полного отрыва волоса из кожного покрова животного. Это усилие, при котором достигается болевой порог чувствительности кожного покрова животного.

Методика проведения экспериментальных исследований предусматривает разработку методики и стенда по определению оптимальных конструктивно-режимных параметров устройства для очистки кожного покрова.

В стенде для измерения основных конструктивно-режимных параметров (рис. 8), предусмотрена возможность варьирования следующих параметров: L – длина очищающего элемента (0,015...0,025 м), E – модуль упругости очищающего элемента (300...500 МПа), P – величина вакуума в камере с крыльчат-

кой ($0 \dots 50$ кПа), ω – частота вращения вала очищающего элемента ($31,2 \dots 52$ с⁻¹), v – скорость перемещения устройства ($0,1 \dots 0,4$ м/с), Q – расход воздуха ($0 \dots 100$ л/мин).

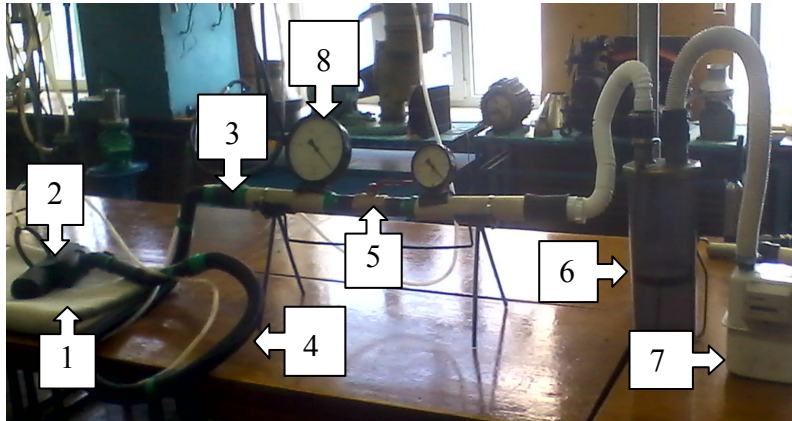


Рис. 8 – Общий вид лабораторного стенда для проведения исследований устройства для очистки кожного покрова с приводом от вакуума:

1 – образец, аналог кожного покрова КРС, 2 – исследуемое устройство, 3 – регулятор подачи жидкости, 4 – воздушный патрубок, 5 – регулятор вакуума, 6 – грязесборник, 7 – расходомер, 8 – вакуумметр

Работает стенд следующим образом. На образец с кожным покровом крупного рогатого скота 1 устанавливают исследуемое устройство 2. Основным рабочим органом устройства являются очищающие элементы, сделанные сменными, поэтому при проведении эксперимента использовали с различными параметрами E (МПа), L (м), d (мм) (рис. 9).

После установки устройства на образец с загрязненным кожным покровом включают вакуумный насос 12, величина вакуума в системе изменяется регулятором вакуума

10 и регистрируется на вакуумметре 9, а расход воздуха можно проследить по расходомеру 11. Загрязнения наносятся на образец, близким по своим физико-механическим свойствам к реальному. Количество очистившегося загрязнения накапливается в пылегрязесборник 8 и измеряется на аналитических весах. Электронный тахометр 9 позволяет определить частоту вращения очищающего элемента в зависимости от величины вакуума и расхода воздуха в системе. Скорость перемещения устройства по кожному покрову оставалась одинаковой ($v = 0,1 \dots 0,4$ м/с). Таким образом, в предлагаемом стенде реализована методика определения основных конструктивных параметров устройства при варьировании эксплуатационных параметров.

Экспериментальные исследования по определению энергетических характеристик устройства для очистки кожного покрова животных с приводом от электродвигателя проводились на базе кафедры «Электротехнологии и электрооборудование» Оренбургского ГАУ. Производственные испытания проводились в ООО «Заилечье» Соль-Илецкого района.



Рис. 9 – Сменные очищающие элементы с различными конструктивными параметрами

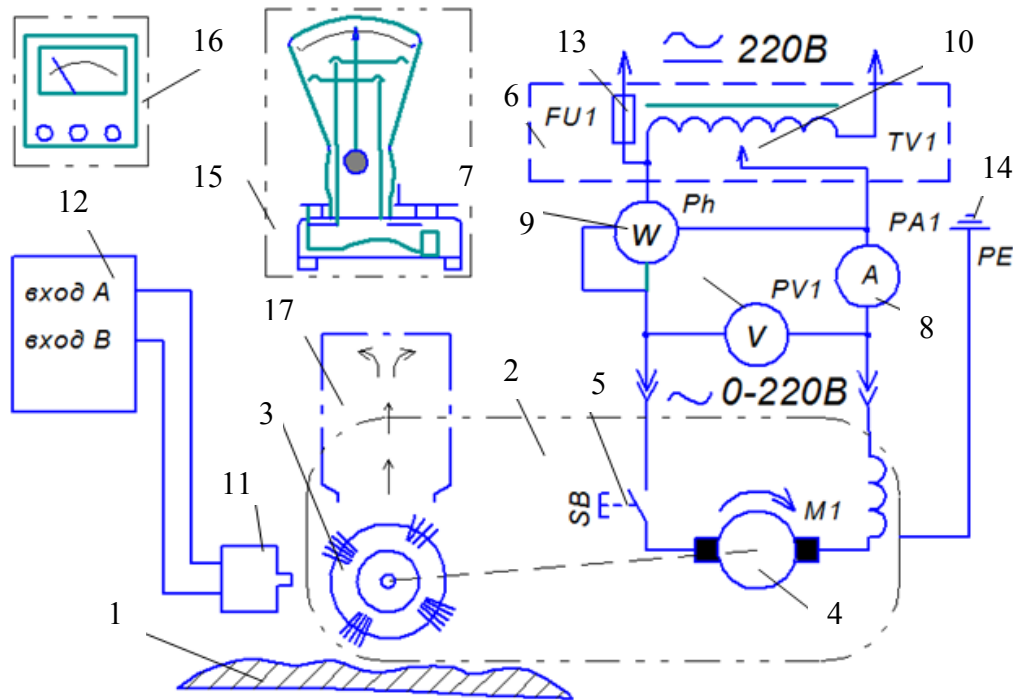


Рис. 10 – Электрическая схема лабораторной установки для определения энергетических характеристик:

1 – загрязненный участок кожного покрова, 2 – исследуемое устройство, 3 – очищающий элемент, 4 – электродвигатель, 5 – кнопка включения, 6 – латр, 7 – вольтметр, 8 – амперметр, 9 – ваттметр, 10 – регулятор напряжения, 11 – электронный тахометр, 12 – дисплей электронного тахометра, 13 – предохранитель, 14 – защитный проводник, 15 – аналитические весы, 16 – электронный мультиметр, 17 – грязесборник

Исследования проводили для получения оптимальных параметров устройства, при которых происходит эффективная очистка кожного покрова.

Лабораторный стенд (рис. 10) работает следующим образом. Устройство 2, устанавливается на образец с загрязненным участком кожного покрова 1 и включается кнопкой пуска 1.

Электронный тахометр 10 позволяет определить частоту вращения вала очищающих элементов ω (с^{-1}) в зависимости от напряжения питающей сети U (**В**), мощности устройства N (**Вт**) и количества очищаемого загрязнения Q (**кг**). Напряжение питающей сети изменяется латром 6 и регистрируется вольтметром 7, активная мощность устройства регистрируется ваттметром 9, а ток в якорной цепи электродвигателя амперметром 8. Количество очистившегося загрязнения извлекается из грязесборника 17 и взвешивается на аналитических весах 15, сопротивление якоря и обмотки возбуждения измеряется электронным мультиметром 16. Сменные очищающие элементы выбраны такими же, как для устройства с приводом от вакуумной системы (рис. 9).

Таким образом, ряд проблем, выдвинутых в трудах основоположников и исследователей по проблемам очистки кожного покрова, решаются в рассмотренных конструкциях, позволяющих значительно поднять производительность

труда, повысить эффективность и универсальность процесса очистки, особенно для условий личного и фермерского ведения хозяйства.

В четвертой главе «Результаты экспериментальных исследований» представлен анализ результатов исследований. По результатам проведенных исследований и при анализе литературных данных выяснили, что усилия удержания загрязнения на кожном покрове не одинаковы. Оказалось, что наиболее высокое значение имеет твердый (панцеревидный навоз) и достигает $F_{y.z.} = 40$ Н, минимальные значения имеют загрязнения подстилочным материалом (опилки, солома) и достигают $F_{y.z.} = 10$ Н. Данные, полученные в лабораторных условиях, незначительно (менее 5%) отличаются от данных, полученных в производственных условиях. Различия в данных объясняются тем, что в лабораторных условиях измерения проводили на образце шкуры коровы. Поэтому значения $F_{y.z.}$ незначи-

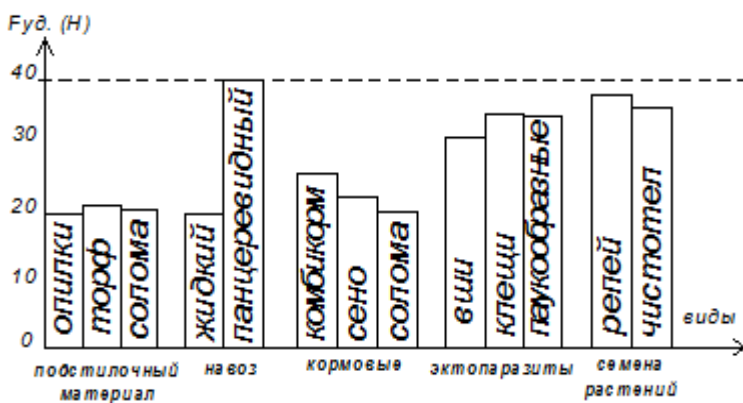


Рис. 11 – Усилие удержания различных видов загрязнений на кожном покрове

тельно выше, чем в производственных опытах. Результаты оценки удержания загрязнения $F_{y.z.}$ представлены на (рис. 11). Результаты исследований и полученные данные обрабатывались методами вариационной статистики при использовании программных продуктов MachCAD 2001 Professional, Microsoft Office Excel 2007, Statsoft STATISTIKA 10.

В ходе предварительных экспериментов было установлено, что на качество очистки влияет большое число параметров процесса: конструктивные (длина, прогиб, диаметр, модуль упругости элементов, диаметр вала, длина рабочей части), качественные показатели (загрязненность кожного покрова), режимные параметры (величина вакуума, расход воздуха, скорость перемещения устройства). Поэтому при определении оптимальных конструктивных и режимных параметров устройства для сокращения числа экспериментов был применен метод планирования опытов и составлена матрица многофакторного эксперимента (рис. 12). При помощи ранжирования из числа всех факторов были отобраны наиболее существенные: X_1 – длина очищающего элемента, X_2 – модуль упругости, X_3 – частота вращения вала, X_4 – скорость перемещения устройства.

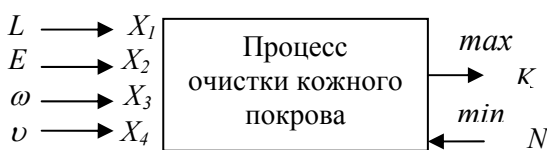


Рис. 12 – Матрица многофакторного эксперимента

По результатам многофакторного эксперимента получены следующие адекватные математические модели со статистически значимыми коэффициентами.

1. Адекватная математическая модель (наблюдаемое значение критерия Фишера $F_{набл} = 184$, критическое значение $F(0,95;4;16) = 3,01$) со статистически значи-

мыми коэффициентами) в виде уравнения регрессии, отражающая зависимость коэффициента эффективности очистки кожных покровов КРС K , % от исследуемых параметров устройства:

$$K = 360,4 - 15707 X_1 - 0,3 X_2 - 2,6 X_3 + 14,7 X_1 X_2 +$$

Целевая функция $\Rightarrow + 133 X_1 X_3 + 692,4 X_1 X_4 + 0,00163 X_2 X_3 - 0,244 X_3 X_4 \Rightarrow \max$
 $N \Rightarrow \min$

Вероятная ошибка прогнозирования по полученной модели равна 2,62%.

2. Адекватная математическая модель (наблюдаемое значение критерия Фишера $F_{набл} = 184$, критическое значение $F_{(0,95;4;16)} = 3,01$) со статистически значимыми коэффициентами) в виде уравнения регрессии, отражающая зависимость усилия, создаваемого устройством в процессе очистки K , % от исследуемых параметров устройства:

$$F = - 285,3 + 14396 X_1 + 0,77 X_2 + 6,76 X_3 - 37,8 X_1 X_2 - 344 X_1 X_3 - 351 X_1 X_4 +$$

$$0,00672 X_2 X_3 - 0,5044 X_2 X_4;$$

при условии наложенных ограничений:

$$0 \leq X_1 \leq 0,03; 0 \leq X_2 \leq 505; 0 \leq X_3 \leq 53; 0 \leq X_4 \leq 0,4.$$

Вероятная ошибка прогнозирования полученной модели равна 7,44 Н. Отмеченное служит основанием для принятия полученных моделей для описания зависимости коэффициента эффективности очистки кожного покрова животных и усилия, создаваемого в процессе очистки в исследованном факторном пространстве.

В результате поиска получены оптимальные значения параметров $X_1 = 0,025$; $X_2 = 505$; $X_3 = 53$; $X_4 = 0,4$, обеспечивающие условное среднее значение коэффициента эффективности очистки $K = 91,71\%$ и усилие $F = 64\text{Н}$.

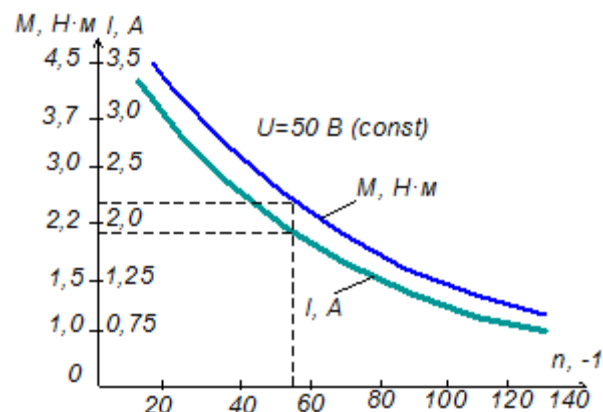


Рис. 13 – Рабочая характеристика электродвигателя

Результаты экспериментальных исследований по определению энергетических характеристик устройства для очистки кожного покрова животных с приводом от электродвигателя представлены на (рис. 13). Из графика видно, что момент, создаваемый валом очищающих элементов для проведения очистки кожного

покрова, должен быть 2,5 Н·м, при этом обеспечивается частота вращения вала 53 с^{-1} при потребляемой мощности 405 Вт. Применительно к рассматриваемой конструкции электродвигателя необходимое питающее напряжение сети должно соответствовать 50 В.

Для проведения производственных исследований устройства очистки кожного покрова с приводом от электродвигателя были сформированы две группы коров по пять голов в каждой – опытная и контрольная (суточный удой 12...13 кг, жирность молока – 3,5...3,6 %). Контрольную группу обслуживали согласно принятой на животноводческом предприятии технологии. У опытной группы

кожный покров подвергали очистке устройством ежедневно на первой неделе, три раза – на второй и два раза – на третьей, т.е. всего 12 раз за 21 день проведения эксперимента.



Рис. 14 – Суточный удой животных опытной (1) и контрольной групп (2)

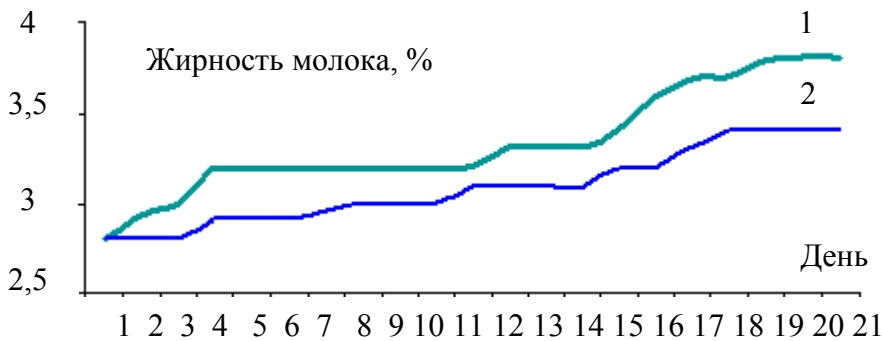


Рис. 15 – Изменение жирности молока опытной (1) и контрольной групп (2)

По суточному удою получены следующие результаты: в опытной группе интенсивность его возрастания за первые 6 дней составила 1,33 кг/день, против 1,16 кг/день в контрольной (рис. 14). За время эксперимента суточный удой опытной группы превысил аналогичный показатель контрольной группы в среднем в 1,05 раза, что позволило получить прибавку 132,5 кг молока. Заметное увеличение жирности молока, полученного от коров опытной группы, отмечено на 4...5 день применения устройства. В среднем за время проведения

эксперимента увеличение жирности молока опытной группы составило 0,19% по сравнению с контрольной (рис. 15).

До начала эксперимента молоко в обеих группах соответствовало II классу чистоты по микробной обсемененности, качество молока считается удовлетворительным. Резазуриновая проба показала наличие в 1 мл молока от 500 тыс. до 4 млн бактерий. На 10-й день эксперимента в опытной группе у четырех из пяти коров проба показала, что количество бактерий в 1 мл молока менее 500 тыс., что соответствует молоку I класса чистоты. Начиная с 12-го дня исследований бактериальная обсемененность молока у коров опытной группы соответствовала I классу чистоты, у коров контрольной группы – II классу. Методика определения чистоты молока проводилась в соответствии с ГОСТ 8218-89 «Молоко. Метод определения чистоты». Затраты труда на очистку одного животного разработанным устройством составляли от 3 до 5 минут, что примерно соответствует продолжительности машинного доения. Очистку проводили примерно за час до начала доения. Устройством очищали 75% кожного покрова, не подвергались очистке конечности, белая линия живота, вымя, морда.

В пятой главе «Экономическая эффективность применения устройства для механической очистки кожного покрова КРС» приведены сравнительные характеристики разработанных экспериментальных устройств для механической очистки.

Сравнительная характеристика разработанных устройств (табл. 1) показала, что при применении устройства с приводом от вакуумной системы доильной установки (вариант 1) происходит слишком большой расход электроэнергии, это означает, что в условиях быстро растущих цен на энергоресурсы производство продукции становится нерентабельным.

Таблица 1 – Сравнительные характеристики разработанных устройств

Показатели	Вариант 1	Вариант 2
Мощность, кВт	5	0,6
Количество обслуживающего персонала	1	1
Производительность, гол./ч	20	23
Стоимость, руб.	3500	10000
Масса, кг	1	1,5

Таким образом, наиболее целесообразным и эффективным будет применение устройства с приводом от коллекторного электродвигателя (вариант 2) для очистки кожного покрова КРС.

Расчетами установлено, что годовой экономический эффект от применения экспериментальной установки для механической очистки кожного покрова КРС с приводом от электродвигателя по сравнению с ручным скребком составляет 12201 руб. Выявлен ожидаемый срок окупаемости 0,83 года.

ОБЩИЕ ВЫВОДЫ

1. Проведенный анализ устройств для механической очистки кожного покрова КРС показал, что одним из реально осуществимых направлений является совершенствование конструктивно-технических решений щеточных устройств по очистке кожного покрова, позволяющих обеспечить качественную очистку с возможностью осуществления влажной обработки кожного покрова специальными дезинфицирующими средствами.

2. Теоретические исследования взаимодействия очищающих элементов устройства для механической очистки с загрязнением кожного покрова в процессе работы позволили выявить основные конструктивно-режимные параметры устройства, влияющие на процесс очистки, к ним относятся: L – длина очищающего элемента, E – модуль упругости материала, ω – угловая частота вращения вала очищающих элементов, $F_{у.з.}$ – усилие удержания загрязнения на кожном покрове, v – скорость перемещения устройства. Обозначены основные технологические, зоотехнические, эксплуатационные требования к устройству для механической очистки кожного покрова и разработаны конструкции устройств для механической очистки кожного покрова КРС, рабочими органами которых яв-

ляются сменные очищающие элементы. Предложенные технические решения позволяют проводить влажную (противоинвазионную) обработку.

3. Для проведения лабораторных исследований и определения эффективности работы разработанных устройств предложены:

- методика и устройство для определения усилия удержания загрязнения на кожном покрове КРС;

- методика и устройство для определения усилия отрыва волос с поверхности кожного покрова КРС (определен порог болевого эффекта $F_{бол.оц.} = 70$ Н);

- методика и стенд для регистрации основных эксплуатационных и энергетических характеристик устройств;

- методика оценки качества работы устройств для механической очистки кожного покрова, основанная на определении количества очищенного загрязнения.

4. Лабораторные исследования на специально разработанных стендах позволили получить математические модели качества очистки кожного покрова от усилия и мощности, создаваемых устройствами. Модели позволяют учесть конструктивно-эксплуатационные параметры устройства и определить их оптимальные значения при его использовании: длина очищающего элемента $L = 0,015 \dots 0,030$ м; модуль упругости материала $E = 300 \dots 500$ МПа; угловая частота вращения вала очищающих элементов $\omega = 31,2 \dots 52$ с⁻¹; скорость перемещения устройства $v = 0,1 \dots 0,4$ м/с.

5. Проведенный многофакторный эксперимент позволил определить оптимальные конструктивные и режимные параметры устройства, обеспечивающие эффективную очистку кожного покрова более 90%, при наложенных ограничениях по усилию создаваемого устройством $F_{устр.} < F_{отр. волос}$: длина очищающего элемента 0,025 м; модуль упругости материала очищающего элемента 505 МПа; частота вращения вала очищающих элементов 53 с⁻¹; скорость перемещения устройства 0,4 м/с. При этом коэффициент эффективности очистки кожного покрова животных $K = 91,71\%$ и усилие, создаваемое устройством $F_{устр.} = 64$ Н. Момент, создаваемый валом очищающих элементов для проведения качественной очистки кожного покрова, 2,5 Н·м, при потребляемой мощности 405 Вт.

6. Сравнительная характеристика разработанных устройств показала, что наиболее целесообразным будет применение устройства с приводом от электродвигателя. Экономический эффект внедрения разработанного устройства для очистки кожного покрова КРС получен с учетом того, что увеличивается прирост удоев молока с 13,4 кг до 14,1 кг за одну дойку, в результате за одну лактацию можно получить дополнительно 132,5 кг молока в год. При такой прибавке экономический эффект от применения одного устройства составит 12201 руб. в год. Также при применении устройства произошло снижение бактериальной обсемененности и увеличение жирности молока.

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ ДИССЕРТАЦИИ ОПУБЛИКОВАНЫ В СЛЕДУЮЩИХ РАБОТАХ

Публикации в изданиях, рекомендованных

ВАК Министерства образования и науки РФ:

1. Нигматов, Л.Г. Обоснование механической обработки кожного покрова крупного рогатого скота / Ю.А. Хлопко, Л.Г. Нигматов // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2013. – № 3 (41). – С. 99–103.

2. Нигматов, Л.Г. Устройство для механической обработки кожного покрова КРС / Ю.А. Хлопко, Л.Г. Нигматов // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2014. – № 2 (46). – С. 62–63.

3. Нигматов, Л.Г. Обоснование силового взаимодействия очищающих элементов с загрязнениями кожного покрова / Л.П. Карташов, Л.Г. Нигматов, Ю.А. Хлопко, В.А. Салов // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2014. – № 6 (50). – С. 58–61.

4. Нигматов, Л.Г. Оптимизация параметров устройства для очистки кожного покрова КРС / Л.П. Карташов, М.К. Базаров, Л.Г. Нигматов // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 2014. – № 6. – С. 9–10.

5. Нигматов, Л.Г. Результаты производственных исследований устройства для механической очистки кожного покрова КРС / Л.Г. Нигматов, А.П. Козловцев, М.С. Сеитов // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 2015. – № 1. – С. 9–13.

Патенты и свидетельства:

6. Положительное решение о выдаче патента РФ 2013153789/13 Универсальное устройство для обработки кожного покрова КРС. Карташов Л.П., Хлопко Ю.А., Нигматов Л.Г.

7. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2015611591 от 30.01.2015 г. Расчет силового взаимодействия очищающих элементов с поверхностью кожного покрова / Хлопко Ю.А., Карташов Л.П., Нигматов Л.Г., Осипова А.М.

В других изданиях:

8. Нигматов, Л.Г. Совершенствование очищающих устройств для механической обработки кожного покрова / Ю.А. Хлопко, А.М. Осипова, Л.Г. Нигматов // Вестник ВНИИМЖ. Серия «Механизация, автоматизация и машинные технологии в животноводстве». – 2013. – № 3 (11). – С. 202–206.

9. Нигматов, Л.Г. Разработка многофункционального устройства для механической обработки кожного покрова КРС / Ю.А. Хлопко, Л.Г. Нигматов, А.А. Панин, И.В. Герасименко // Вестник ВНИИМЖ. – 2014. – № 4(16). С. 133–136.

10. Нигматов, Л.Г. Исследование процесса механической очистки кожного покрова КРС от загрязнений / М.К. Базаров, Л.Г. Нигматов // Агропромышленный комплекс: состояние, проблемы, перспективы: сборник статей X Международной научно-практической конференции / МНИЦ ПГСХА. – РИО ПГСХА, 2014. – 163 с.

11. Нигматов, Л. Г. Сравнительная характеристика и разработка устройства для чистки кожного покрова КРС с приводом от электродвигателя. / Л. Г. Нигматов // Образование и наука в современных условиях: материалы II междунар. науч.-практ. конф. (Чебоксары, 15 янв. 2015 г.) / редкол.: О.Н. Широков [и др.]. – Чебоксары: ЦНС «Интерактив плюс», 2015.

12. Нигматов, Л.Г. Совершенствование средств механической очистки кожного покрова КРС с учетом необходимости проведения противоклещевых обработок / Л.Г. Нигматов // Перспективы развития науки и образования: сборник научных трудов по материалам Международной научно-практической конференции 30 декабря 2014 г. – М.: «АР-Консалт», 2015. – 150 с.

Нигматов Ленар Гамирович

**РАЗРАБОТКА КОНСТРУКЦИИ И ОБОСНОВАНИЕ
ПАРАМЕТРОВ УСТРОЙСТВА ДЛЯ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОЧИСТКИ
КОЖНОГО ПОКРОВА КРС**

Специальность: 05.20.01 – Технологии и средства
механизации сельского хозяйства

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Подписано в печать 22.04.2015.
Формат 60×84/16. Усл. печ. л. 1,0.
Заказ № 7728. Тираж 100 экз.

Издательский центр ОГАУ
460014, г. Оренбург, ул. Челюскинцев, д. 18
тел.: (3532) 77-61-43
Отпечатано в Издательском центре ОГАУ