

На правах рукописи

Солдатов Виктор Геннадьевич

**РАЗРАБОТКА КОМПЛЕКСА ДЛЯ ИСПЫТАНИЙ
МАНИПУЛЯТОРОВ ДОЕНИЯ**

05.20.01 – Технологии и средства механизации сельского хозяйства

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Оренбург – 2012

Работа выполнена в ФГБОУ ВПО «Оренбургский государственный аграрный университет» на кафедре механизация технологических процессов в АПК

Научный руководитель заслуженный деятель науки РФ, доктор технических наук, профессор
Соловьев Сергей Александрович

Официальные оппоненты: **Комарова Нина Константиновна** – доктор сельскохозяйственных наук, профессор, ФГБОУ ВПО «Оренбургский государственный аграрный университет», заведующая кафедрой физики

Мясникова Ольга Геннадьевна – кандидат технических наук, Министерство сельского хозяйства, пищевой и перерабатывающей промышленности Оренбургской области, руководитель отдела информационного обеспечения

Ведущая организация ФГБОУ ВПО «Оренбургский государственный университет»

Защита состоится «18» мая 2012 г. в 10⁰⁰ часов на заседании диссертационного совета Д 220.051.02 при ФГБОУ ВПО «Оренбургский государственный аграрный университет» по адресу: 460014, г. Оренбург, ул. Коваленко, 4 (корпус № 3 технического факультета ОГАУ), ауд. № 500.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Оренбургского государственного аграрного университета. Объявление о защите и автореферат размещены на сайте ФГБОУ ВПО «Оренбургский государственный аграрный университет» <http://ogensau.ru> и на сайте Высшей аттестационной комиссии Министерства образования и науки Российской Федерации: <http://vak.ed.gov.ru>.

Автореферат разослан «16» апреля 2012 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета



В.А. Шахов

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. Мировой финансовый и экономический кризис, начавшийся в 2008 г., а также сильная засуха в 2010 г., охватившая 43 субъекта Российской Федерации, в которых сосредоточено более 60 % посевных площадей страны, негативно отразились на сельскохозяйственном производстве в целом и молочном животноводстве в частности. В сложившихся условиях, повышение темпов производства молока и молокопродуктов является одним из приоритетных направлений государственной программы «Развитие сельского хозяйства и регулирования рынков сельскохозяйственной продукции, сырья и продовольствия на 2013-2020 годы». Перед молочным животноводством к 2020 г. стоит задача увеличения объемов производства молока до 38,2 млн т или на 19,9 % больше по сравнению с 2010 г.

Рост объемов производства продукции молочного животноводства возможен, прежде всего, за счет внедрения современного технологического оборудования, в котором ведущая роль принадлежит автоматизации. Ключевым звеном автоматизации процесса машинного доения является использование манипуляторов, позволяющих в автоматическом режиме выполнять до 2/3 технологических операций по доению коровы.

В зависимости от конструктивных и режимных параметров, манипуляторы по-разному влияют на интенсивность молокоотдачи и физиологическое здоровье вымени коровы и, как следствие, на эффективность и продуктивность машинного доения. Для оценки качественных и эксплуатационных показателей манипуляторов разработаны различные стенды и испытательные комплексы.

Проведенный анализ существующих средств для испытаний манипуляторов доения позволил выявить общие для всех недостатки: невозможность проведения испытаний в производственных условиях, низкую точность регистрации кинематических и динамических характеристик движений исполнительного механизма. Рабочий процесс испытания манипуляторов доения недостаточно изучен и требует совершенствования.

Таким образом, разработка комплекса для испытаний манипуляторов доения и объективной оценки эффективности их работы на сегодняшний день является актуальной задачей.

Цель исследования: разработка комплекса для испытаний манипуляторов доения.

Объект исследования: процесс испытания манипулятора доения и оценка характеристик его работы с помощью испытательного комплекса.

Предмет исследования: закономерности влияния конструктивных и режимных параметров испытательного комплекса на эффективность оценки характеристик работы манипулятора.

Методы исследований: достижение поставленной цели осуществлялось теоретическими и экспериментальными исследованиями, нацеленными на определение оптимальных конструктивных и режимных параметров испытательного комплекса.

Теоретические исследования включали изучение технологического процесса с применением методов классической механики и геометрической оптики.

В экспериментальных исследованиях были использованы методы компьютерного моделирования. Результаты исследований обрабатывались с применением известных методов математической статистики.

Научную новизну работы составляют:

- теоретическое обоснование конструктивных и режимных параметров комплекса для испытаний манипуляторов доения;
- методика проведения испытаний манипуляторов доения с помощью испытательного комплекса;
- алгоритмы для расчета критериев эффективности работы манипулятора и моделирования движений в пространстве, совершаемых исполнительным механизмом манипулятора.

Практическая значимость работы:

- конструкция комплекса для испытаний манипуляторов доения;
- результаты экспериментальных исследований по определению оптимальных параметров испытательного комплекса;
- результаты сравнительных испытаний промышленных манипуляторов.

Достоверность основных теоретических положений подтверждена результатами экспериментальных исследований, проведенных в лабораторных (кафедра механизация технологических процессов в АПК ФГБОУ ВПО Оренбургский ГАУ) и производственных (молочно-товарные фермы: ЗАО «Нива» с. Новотроицкое, Октябрьского района; ООО «НПО «Южный Урал», с. Черный отрог, Саракташского района) условиях.

На защиту выносятся следующие положения:

- теоретическое обоснование выбора критериев эффективности работы манипуляторов;
- конструкция испытательного комплекса и программные средства для испытаний манипуляторов доения;
- методика проведения испытаний манипуляторов доения с помощью испытательного комплекса.

Апробация работы. Общие положения диссертации доложены и одобрены на международных конференциях ГНУ ВНИИМЖ «Машинно-технологическое обеспечение животноводства – проблемы эффективности и качества» (Москва, 2009 г., 2011 г.); на годичных семинарах кафедры механизация животноводства ОГАУ (Оренбург, 2008–2011); на областной выставке научно-технического творчества молодежи (Оренбург, 2009), на XI

Всероссийской выставке научно-технического творчества молодежи (Москва, 2009). На выставках работа отмечена дипломами.

Публикации. По материалам диссертации опубликовано 11 работ (в том числе пять статей в журналах, рекомендованных ВАК РФ), общим объемом три печатных листа. Получены четыре свидетельства о государственной регистрации программы для ЭВМ.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, пяти глав, общих выводов. Работа изложена на 134 страницах машинописного текста, включая список литературы из 119 наименований, 28 рисунков, 11 таблиц и 17 приложений.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Введение содержит обоснование актуальности выбранной темы, а также основные положения, выносимые на защиту.

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

Исследованием процесса автоматизации заключительных операций машинного доения занимались ученые: Винников И.К., Дриго В.А., Зеленцов А.И., Забродина О.Б., Ужик В.Ф., Карташов Л.П., Кормановский Л.П., Огородников П.И., Петруша Е.З., Соловьев С.А., Спроге Е.Э., Цой Ю.А., Юлдашев Ф.Ф.

Проведенный анализ и классификация промышленных и опытных манипуляторов доения свидетельствуют о большом разнообразии конструктивных схем и подходов к решению вопроса автоматизации заключительных операций машинного доения.

Вопросами разработки методик испытаний доильного оборудования и соответствующих им стендов и комплексов занимались многие ученые. Большая роль в решении проблемы создания испытательного оборудования принадлежит ученым: Асманкину Е.М., Воробьеву В.А., Карташову Л.П., Кузьмину А.Е., Огородникову П.И., Петухову Н.А., Побединскому В.М., Соловьеву С.А., Фененко А.И., Цюю Ю.А., Шахову В.А.

Проведенный анализ существующих инженерных методов и средств испытаний доильных манипуляторов позволил определить перспективные тенденции развития испытательных комплексов:

- использование современных средств вычислительной техники для обработки параметров испытаний;
- использование систем регистрации движения и положения объектов в пространстве.

В результате анализа существующих систем регистрации движения выяснили: для проведения испытаний манипуляторов доения в производственных условиях наилучшим образом подходит комплекс базирующийся на активной оптической системе регистрации движения.

На основании анализа состояния вопроса в соответствии с поставленной целью сформулированы следующие **задачи исследования**:

1. Провести анализ существующих конструкций доильных манипуляторов и роботов, методик и средств для испытаний манипуляторов доения.
2. Определить критерии оценки эффективности работы манипулятора доения.
3. Обосновать конструкцию и режимные параметры испытательного комплекса.
4. Разработать и изготовить комплекс для испытаний манипуляторов доения, экспериментально обосновать оптимальные режимные параметры комплекса.
5. Разработать методику проведения испытаний манипуляторов доения, провести производственные испытания ряда промышленных манипуляторов, дать оценку экономической эффективности результатов исследований.

Во второй главе «Теоретическое обоснование процесса испытания манипулятора доения» предусматривалось выполнение следующих задач:

- обоснование критериев эффективности работы манипулятора доения;
- обоснование конструктивно-режимных параметров испытательного комплекса.

Для оценки эффективности работы манипулятора доения определены следующие критерии.

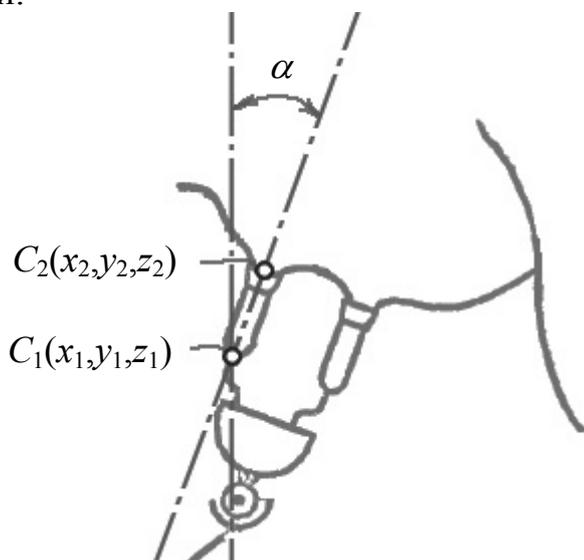


Рисунок 1 – Угол наклона доильного стакана по двум точкам

α – угол отклонения доильного стакана от вертикали, град;

$C_1(x_1, y_1, z_1)$, $C_2(x_2, y_2, z_2)$ – точки у основания и конца доильного стакана

1. Отклонение манипулятором доильных стаканов при доении и додаивании. Манипуляторы доения, обеспечивающие правильную ориентацию доильных стаканов в пространстве при доении и додаивании в направлении естественного расположения сосков, позволяют повысить скорость молокоотдачи. Наиболее приспособленными к машинному доению считаются коровы, у которых соски расположены вертикально. В зависимости от

конструкции манипулятора, пригодными для машинного доения являются коровы с отклонением сосков вперед до 25° . Разделим коров на три группы с углами отклонения сосков от вертикали: $[0^\circ \dots 5^\circ]$, $(5^\circ \dots 15^\circ]$, $(15^\circ \dots 25^\circ]$.

При доении угол наклона α к вертикали доильного стакана (Рис. 1) можно определить, зная пространственные координаты его основания $C_1(x_1, y_1, z_1)$ и противоположного конца $C_2(x_2, y_2, z_2)$. Запишем квадратичное неравенство для определения пространственной области расположения доильного стакана для группы коров с углами отклонения сосков от α_1 до α_2 :

$$\cos \alpha_2 \leq \frac{z_2 - z_1}{\sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2 + (z_2 - z_1)^2}} \leq \cos \alpha_1. \quad (1)$$

Преобразуем неравенство (1) подставив значения углов выбранных групп:

$$\begin{cases} (x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2 \geq 0 \\ 0,995 \cdot (x_2 - x_1)^2 + 0,995 \cdot (y_2 - y_1)^2 - 0,009 \cdot (z_2 - z_1)^2 \leq 0 \end{cases} \quad \text{для } [0^\circ \dots 5^\circ]; \quad (2)$$

$$\begin{cases} 0,991 \cdot (x_2 - x_1)^2 + 0,991 \cdot (y_2 - y_1)^2 - 0,009 \cdot (z_2 - z_1)^2 \leq 0 \\ 0,933 \cdot (x_2 - x_1)^2 + 0,933 \cdot (y_2 - y_1)^2 - 0,077 \cdot (z_2 - z_1)^2 \leq 0 \end{cases} \quad \text{для } (5^\circ \dots 15^\circ]; \quad (3)$$

$$\begin{cases} 0,933 \cdot (x_2 - x_1)^2 + 0,933 \cdot (y_2 - y_1)^2 - 0,077 \cdot (z_2 - z_1)^2 \leq 0 \\ 0,822 \cdot (x_2 - x_1)^2 + 0,822 \cdot (y_2 - y_1)^2 - 0,188 \cdot (z_2 - z_1)^2 \leq 0 \end{cases} \quad \text{для } (15^\circ \dots 25^\circ]. \quad (4)$$

Получена совокупность уравнений прямых (2, 3, 4), характеризующих углы наклона доильного стакана к вертикали для предложенных групп.

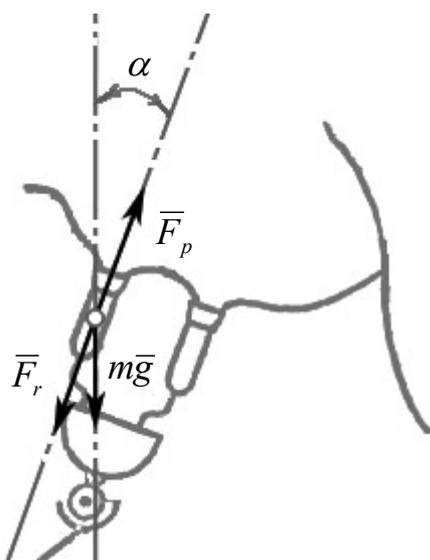


Рисунок 2 – Силы, действующие на сосок вымени коровы в момент снятия доильного стакана

\bar{F}_p – сила удержания доильного стакана на соске, Н; $m\bar{g}$ – сила тяжести, Н;

\bar{F}_r – сила, с которой манипулятор оттягивает доильный стакан, Н

2. *Безопасность снятия доильных стаканов.* При автоматизированном способе доения, когда заключительные операции осуществляются без участия оператора, важен способ отключения доильного аппарата манипулятором. Необходимо обеспечить безболезненное и самостоятельное снятие доильных стаканов с сосков вымени.

При наличии вакуума в подсосковых камерах для снятия стаканов необходимо приложить определенное усилие F_r :

$$F_r = F_p - m \cdot g \cdot \cos \alpha , \quad (5)$$

где F_p – сила удержания доильного стакана на соске, Н; mg – сила тяжести (m – масса доильного стакана и одной четвертой исполнительного механизма доильного манипулятора, кг, g – ускорение свободного падения, м/с²), Н; α – угол наклона к вертикали доильного стакана, рад (Рис. 2).

Сила удержания доильного стакана на соске F_p зависит от вакуума в доильном стакане, формы и размеров соска, силы трения соска о сосковую резину. В производственных условиях определить значение этой силы невозможно. Определим F_r через ускорение a_r , получаемое доильным стаканом во время его снятия:

$$F_r = (a_r - g \cdot \cos \alpha)m . \quad (6)$$

Ускорение движения доильного стакана a_r во время его снятия складывается из ускорения свободного падения g и ускорения a_p , переданного силой удержания доильного стакана на соске:

$$a_r = a_p + g \cdot \cos \alpha . \quad (7)$$

При безопасном снятии доильного аппарата значение силы оттягивания доильных стаканов близко к нулю, ускорение движения доильных стаканов стремится к ускорению свободного падения. Критерий безболезненного снятия доильных стаканов относительно ускорения движения доильных стаканов представим в виде:

$$a_r \approx g \cdot \cos \alpha . \quad (8)$$

3. *Значения интенсивности молоковыведения, при которых манипулятор переходит в режимы додаивания и отключения доильного аппарата.* Большое влияние на продуктивность машинного доения и здоровье вымени оказывает своевременность выполнения операций машинного додаивания и отключения доильного аппарата. Оптимальными значениями интенсивности молоковыведения для додаивания являются [300...600] г/мин, в зависимости от тугодойности коровы, для отключения доильного аппарата [150...200] г/мин.

Счетчик молока регистрирует количество полученного молока через определенные промежутки времени. Для расчета интенсивности молоковыведения в произвольный момент времени требуется интерполирование исходного набора значений регистрируемого счетчиком. Учитывая уровень по-

грешности регистрируемых значений и случайный характер ошибок, возникающих при их определении, оптимальным способом приближения функции молоковыведения является аппроксимация по методу наименьших квадратов.

4. *Рабочая зона.* Под рабочей зоной манипулятора M будем понимать пространственную фигуру, описываемую исполнительным механизмом при доении i -ой коровы.

Для удобства расчетов предположим, что рабочая зона манипулятора имеет форму параллелепипеда со сторонами Z_1, Z_2, Z_3 , равными амплитудам перемещения рабочей точки исполнительного механизма доильного манипулятора по соответствующим пространственным осям OX_1, OX_2, OX_3 . Значение длин Z_1, Z_2, Z_3 будем определять как разность максимальной и минимальной координаты по соответствующей пространственной оси.

$$M = (z_{1\max} - z_{1\min})(z_{2\max} - z_{2\min})(z_{3\max} - z_{3\min}). \quad (9)$$

Под обслуживаемой зоной Z будем понимать пространственную фигуру, образованную совокупностью предельно достижимых положений сосков всех коров определенного стада для определенного доильного станка.

Критерием соответствия рабочей зоны манипулятора обслуживаемой зоне стада коров будет условие $M \in Z$. Запишем критерий соответствия в виде системы неравенств:

$$\left. \begin{aligned} z_{1\max} - z_{1\min} &\leq k - x_{1\min} + d_{\max} \\ z_{2\max} - z_{2\min} &\leq l - x_{2\min} + e_{\max} \\ z_{3\max} - z_{3\min} &\leq x_{3\max} - x_{3\min} \end{aligned} \right\}, \quad (10)$$

где k – ширина станка, м; l – расстояние по горизонтали от передней кромки кормушки до заднего ограждения станка, м; $x_{1\min}$ – минимальная ширина коровы в маклоках (выступающих вперед и в сторону буграх крыла подвздошной кости), м; $x_{2\min}$ – минимальное расстояние по горизонтальной линии до хвостовой части коровы (седалище бугров), м; $x_{3\max}, x_{3\min}$ – максимальное и минимальное расстояние от пола до вымени, м; d_{\max} – максимальное расстояние между передними сосками, м; e_{\max} – максимальное расстояние между передними и задними сосками, м.

Для регистрации характеристик работы манипулятора доения и оценки его эксплуатации в соответствии с предложенными критериями, в состав испытательного комплекса должны входить: оптическая система регистрации движения в пространстве, программное обеспечение и счетчик молока.

Для функционирования оптической системы регистрации движения требуются: две видеокамеры, компьютер, набор светодиодов (используемые в качестве маркеров) с источником питания, программное обеспечение.

Под точностью регистрации движения будем понимать минимальную величину перемещения объекта (в метрах) по горизонтали $Step_w$ и вертикали $Step_h$ на заданном расстоянии R , которое может быть зарегистрировано камерой.

Наименьшим значениям $Step_w$ и $Step_h$ соответствует наибольшая точность регистрации и наоборот. $Step_w$ и $Step_h$ могут быть определены из системы выражений:

$$\begin{cases} Step_w = \frac{R \cdot \operatorname{tg} \alpha_w}{W_{px}} \\ Step_h = \frac{R \cdot \operatorname{tg} \alpha_h}{H_{px}} \end{cases}, \quad (11)$$

где H_{px} и W_{px} – разрешение камер по вертикали и горизонтали, пиксель; W , H – ширина и высота поля зрения, м; R – расстояние от камеры до объекта, м; α – угол обзора камеры, рад (Рис. 3).

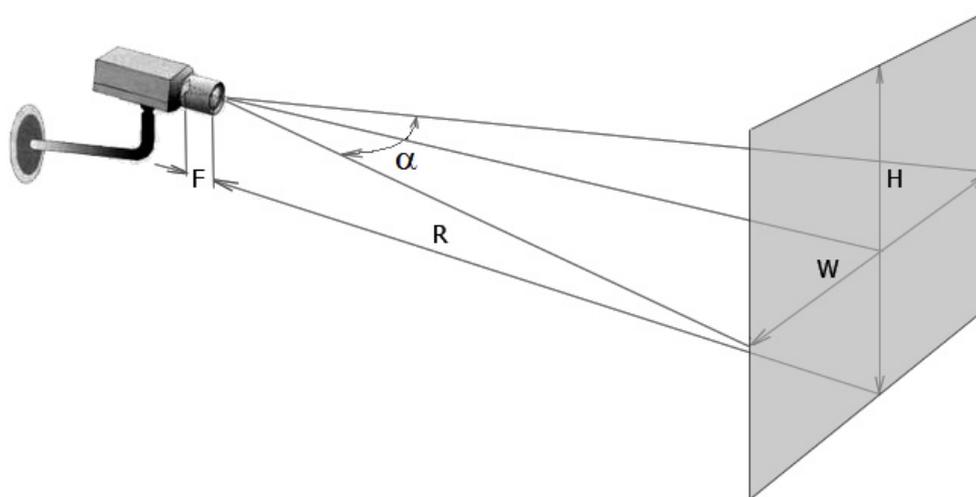


Рисунок 3 – Основные характеристики видеокамеры

W , H – ширина и высота поля зрения, пиксель; R – расстояние от камеры до объекта, м; α – угол обзора, град; F – фокусное расстояние

Наибольшая точность регистрации движения соответствует наименьшему удалению объекта от камеры и наименьшему углу обзора.

Координаты точечного объекта, выраженных в метрах, в плоскости поля зрения одной камеры могут быть определены с помощью системы выражений:

$$\begin{cases} X = X_{px} \cdot \frac{R \cdot \operatorname{tg} \alpha_w}{W_{px}} \\ Y = Y_{px} \cdot \frac{R \cdot \operatorname{tg} \alpha_h}{H_{px}} \end{cases}, \quad (12)$$

где X_{px} и Y_{px} – координаты точечного объекта на матрице камеры, пиксель.

Система выражений (12) справедлива, когда объект движется в плоскости перпендикулярной оптической оси, удаленной на расстояние R от объектива камеры (декартова система координат). Исполнительный механизм до-

ильного манипулятора совершает движения в пространстве. Для определения координат объекта в трехмерном пространстве кроме разрешающей способности и углов обзора камеры необходимо знать расстояние от камеры до объекта. Поэтому для регистрации движения объекта в пространстве необходимо две и более камеры. Рассмотрим систему из двух видеокамер расположенных так, что их оптические оси перпендикулярны (Рис. 4). Оптическая ось первой камеры *Cam1* параллельна пространственной оси *OX*, оптическая ось второй камеры *Cam2* параллельна пространственной оси *OY*. Тогда камера *Cam1* будет регистрировать координаты объекта по пространственным осям *OZ*, *OY*, а камера *Cam2* – по осям *OZ*, *OX*.

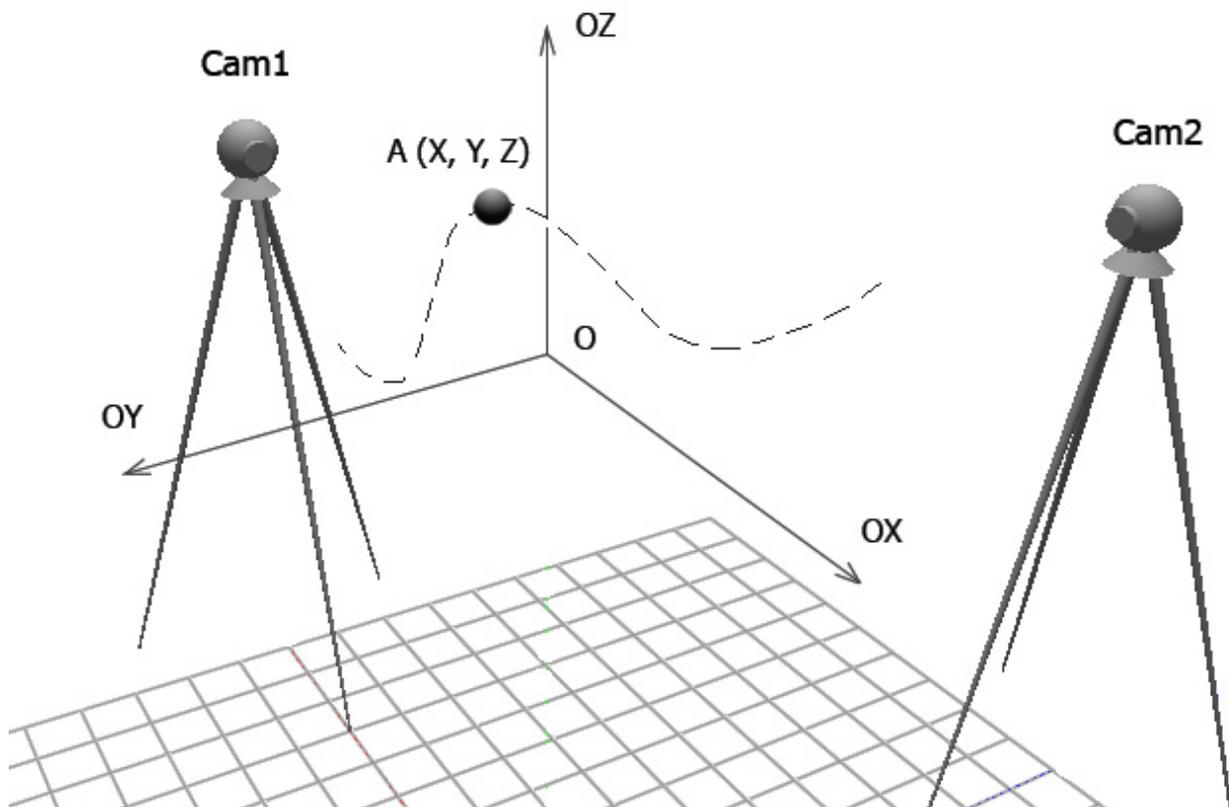


Рисунок 4 – Схема расположения видеокамер для регистрации движения объекта в пространстве

Cam1, Cam2 – первая и вторая камеры; *A* – движущийся в пространстве точечный объект с координатами (X, Y, Z)

Для определения пространственных координат точечного объекта выраженных в метрах справедлива система выражений:

$$\begin{cases} X = X_{px1} (R + Y) \frac{\operatorname{tg} \alpha_{w1}}{W_{px1}} \\ Y = X_{px2} (R + X) \frac{\operatorname{tg} \alpha_{w2}}{W_{px2}} \\ Z = Y_{px1} (R + Y) \frac{\operatorname{tg} \alpha_{h1}}{H_{px1}} \end{cases}, \quad (13)$$

где R – начальное расстояние от камер $Cam1$ и $Cam2$ до объекта наблюдения, м; α_{w1} , α_{h1} – углы обзора по горизонтали и вертикали первой камеры, рад; α_{w2} – угол обзора по горизонтали второй камеры, рад; W_{px1} , H_{px1} – разрешающая способность первой камеры по горизонтали и вертикали, пиксель; W_{px2} – разрешающая способность второй камеры по горизонтали, пиксель; X_{px1} , Y_{px1} – координаты объекта регистрируемые первой камерой, пиксель; X_{px2} – координата объекта, регистрируемая второй камерой, пиксель.

В результате преобразований получили систему выражений:

$$\begin{cases} X = \frac{R \cdot X_{px1} \cdot \operatorname{tg} \alpha_{w1} (W_{px2} + X_{px2} \cdot \operatorname{tg} \alpha_{w2})}{W_{px1} \cdot W_{px2} - X_{px1} \cdot X_{px1} \cdot \operatorname{tg} \alpha_{w1} \cdot \operatorname{tg} \alpha_{w2}} \\ Y = \frac{R \cdot X_{px2} \cdot \operatorname{tg} \alpha_{w2} (W_{px1} + X_{px1} \cdot \operatorname{tg} \alpha_{w1})}{W_{px1} \cdot W_{px2} - X_{px1} \cdot X_{px1} \cdot \operatorname{tg} \alpha_{w1} \cdot \operatorname{tg} \alpha_{w2}} \cdot \\ Z = Y_{px1} (R + Y) \frac{\operatorname{tg} \alpha_{h1}}{H_{px1}} \end{cases} \quad (14)$$

В отличие от системы выражений (13) уравнения полученной системы не зависят друг от друга. Поэтому систему уравнений (14) возможно реализовать посредством программирования на ЭВМ.

Таким образом, с помощью приведенных выражений можно определить оптимальные конструктивные и режимные параметры оптической системы для регистрации характеристик работы манипулятора доения.

Третья глава «Разработка комплекса программ для оценки эффективности работы манипулятора доения» посвящена реализации теоретического обоснования процесса испытания манипуляторов доения. Результаты теоретических исследований послужили основой для создания программных средств:

1) Программа «3DMotionCheck v.2.0» (свидетельство РФ № 2010611056) в результате испытания позволяет строить компьютерную модель перемещений исполнительской части манипулятора, выполнять расчет критериев эффективности работы манипулятора. Она является частью оптической системы регистрации движения (Рис. 5).

2) Программа «MilkingChart v.1.0» (свидетельство РФ № 2011617545) позволяет осуществлять: регистрацию интенсивности молоковыведения с помощью счетчика молока, подключаемого через интерфейсы USB, COM, LPT; строить кривые интенсивности молокоотдачи методами: полиномиальной аппроксимации, аппроксимацией с использованием линейного МНК; рассчитывать значение интенсивности молоковыведения в заданный момент времени.

3) Программа «FindJumps v.1.0» (свидетельство РФ № 2011617544) позволяет осуществлять расчет и оценку плавности движения исполнительного механизма манипулятора доения, в графической форме отображать результаты расчета.

Разработан алгоритм математического моделирования включающий этапы вычислительного эксперимента.

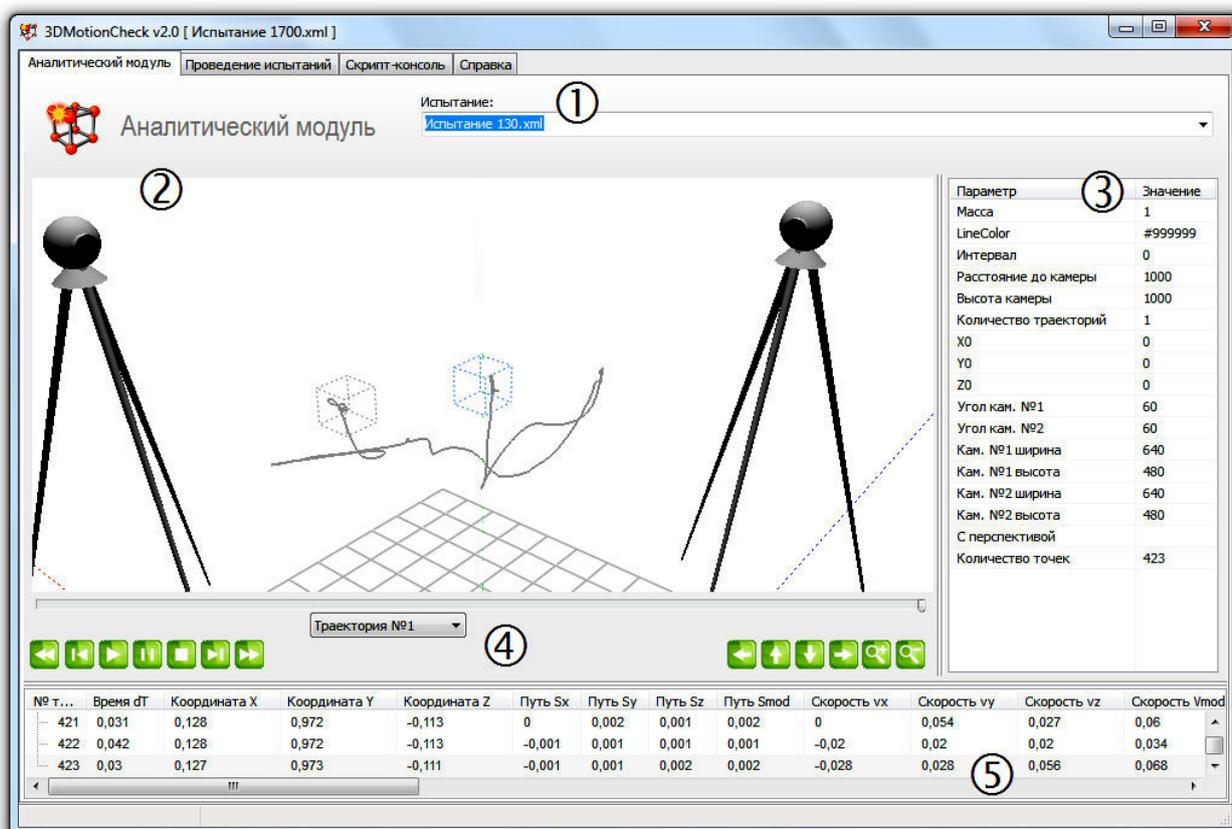


Рисунок 5 – Вкладка «Аналитический модуль» программы «3DMotionCheck v.2.0»
 1 – раскрывающийся список выбора испытания; 2 – сцена компьютерной модели движения; 3 – параметры испытания; 4 – панель управления сценой; 5 – таблица основных физических характеристик

В четвертой главе «Программа и частные методики проведения экспериментальных исследований» приведены программа экспериментальных исследований, частные методики, схема испытательного комплекса и его описание.

Для проведения испытаний манипуляторов доения разработан и создан испытательный комплекс, в состав которого входят: оптическая система регистрации движения (Рис. 6), специальное программное обеспечение и счетчик молока.

Испытательный комплекс позволяет непосредственно во время работы манипулятора определять:

- углы отклонения доильных стаканов во время доения и додаивания;
- ускорение движения доильного стакана в момент его снятия;
- интенсивность молоковыведения в моменты начала додаивания и снятия доильных стаканов;
- предельные положения в пространстве исполнительной части манипулятора.

Испытания манипуляторов с помощью комплекса проводят следующим образом. Перед проведением испытаний осуществляют установку и подготовку комплекса: устанавливают видеокамеры на штативы (оптические оси камер должны быть перпендикулярны, а рабочее положение исполнительного механизма манипулятора должно попадать в поле зрения камер); подключают камеры к компьютеру; проводят калибровку камер (с помощью уровня и строительного уголка); подключают счетчик молока в молочный шланг; закрепляют на боковой стороне доильного стакана два маркера (светодиода) на расстоянии 15 см друг от друга. Испытание начинают как только корова войдет в доильный бокс. Проводят контроль технологических операций манипулятора (позиционирование доильных стаканов оператором, доение, додаивание; снятие стаканов и отвод их в нейтральное положение). Осуществляют контроль и регистрацию показаний счетчика молока, в зависимости от его конструкции выполняют в автоматическом или ручном режиме. После снятия доильных стаканов останавливают работу испытательного комплекса. С помощью программных средств строят компьютерную модель работы манипулятора и выполняют расчет показателей эффективности его работы. После проведения испытаний демонтируют маркеры, оптическую систему, счетчик молока.

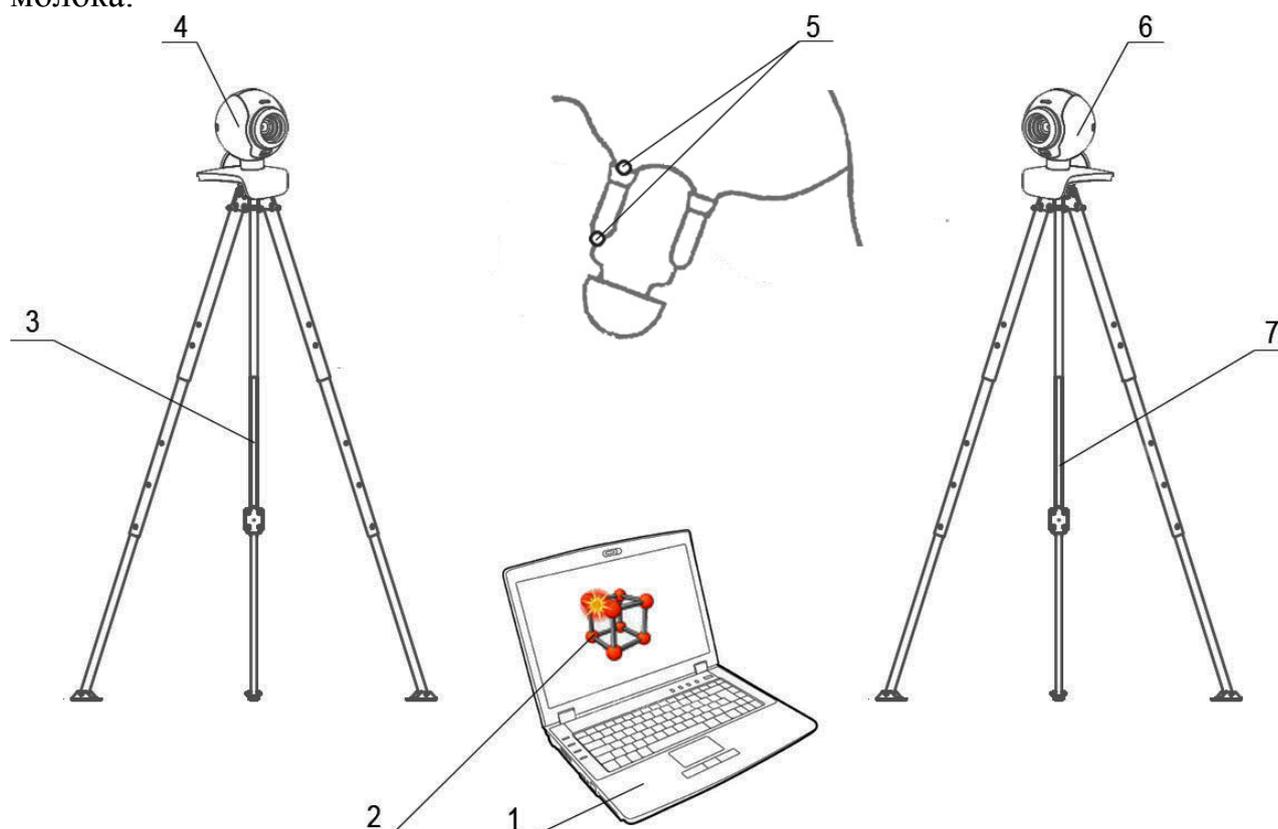


Рисунок 6 – Функциональная схема оптической системы регистрации движения

1 – компьютер; 2 – программное обеспечение; 3, 7 – штативы; 4, 6 – видеокамеры; 5 – исследуемый объект с прикрепленными к нему маркерами

Оптическая система работает следующим образом. На изображение, получаемое с видеокамер, накладывается видеофильтр; настройки видеофильтра регулируют так, чтобы маркер выглядел светлой точкой на темном фоне. С помощью реализованных в программном обеспечении алгоритмов система определяет координаты маркера на изображении каждой камеры. Получаемые таким образом координаты маркера с учетом взаимного расположения видеокамер и их удаления от исследуемого объекта, разрешающей способности и угла обзора, преобразуются в пространственные величины, выраженные в метрах. Регистрация координат объекта осуществляется дискретно через малые промежутки времени, зависящие от характеристик и настроек камер. По окончании испытания полученный набор координат, а также информация о нем, о настройках камер и их расположении сохраняется системой в специальном файле. В результате испытания система строит компьютерную модель движения и рассчитывает кинематические и динамические величины в отдельных точках траектории перемещения доильных стаканов.

Программа экспериментальных исследований состояла из двух циклов.

Первый цикл опытов посвящен определению погрешности регистрации траектории движения и кинематических характеристик. Цель экспериментов первого цикла – снижение погрешностей регистрации траектории движения и кинематических характеристик объекта оптической системой. В серии опытов осуществляли регистрацию пространственных координат перемещения точечного объекта (маркера) по граням куба, регистрацию движения свободно падающего точечного объекта. Средства эксперимента: оптическая система регистрации движения, куб с длиной ребер 0,4 м, маркер, штатив, груз с маркером. Разработана методика расчета погрешностей построения пространственной траектории движения и регистрации кинематических характеристик объекта. Характер эксперимента – активный, многофакторный, лабораторный. При планировании использовали матрицу многоуровневого факторного эксперимента 3^3 . Факторы: разрешение камер W (X_1), удаленность камер от объекта регистрации R (X_2), углы обзора камер α (X_3). В качестве откликов: погрешность регистрации длин ребер куба $ErrL$ (Y_1), ускорение свободного падения маркера $ErrA$ (Y_2).

Лабораторные экспериментальные исследования проводились на кафедре механизация технологических процессов в АПК ФГБОУ ВПО Оренбургский ГАУ в июле-августе 2010 года (Рис. 7).

Второй цикл опытов посвящен апробации испытательного комплекса в производственных условиях. Цели эксперимента: экспериментальное подтверждение значимости выбранных критериев оценки эффективности работы манипулятора доения. Разработана методика проведения испытаний манипуляторов доения в производственных условиях. Средства эксперимента: установка УДА-8А оснащенная серийно выпускаемыми манипуляторами МД-Ф-1, установка Side by Side (IMPULSA AG) оснащенная манипуляторами PULSATRONIC M, комплекс для испытаний манипуляторов доения. Характер

эксперимента – пассивный, многофакторный, производственный. В качестве основного критерия физиологичности манипулятора использовали скорость доения, величину удоя и додоя.

Производственные исследования проводились в опытно-производственном хозяйстве ЗАО «Нива» (с. Новотроицкое, Октябрьского района Оренбургской области) на доильной установке УДА-8А типа «Тандем» и в молочно-товарном комплексе ООО «НПО «Южный Урал» (с. Черный отрог, Саракташского района Оренбургской области) на доильной установке Side by Side (IMPULSA AG) в 2011 году (Рис. 8).

В пятой главе «Результаты экспериментальных исследований» приведены результаты исследований, полученные в лабораторных и производственных условиях.

В результате лабораторных исследований определены оптимальными параметрами оптической системы: разрешение камер 640x480 и более, кадровая частота 30 кадров в секунду, удаленность исполнительного механизма манипулятора до камер в 600–900 мм. Погрешность регистрации траектории движения маркера в этом случае составляет 4,2 мм (1,05 %), ускорения свободного падения: 0,173 м/с² (1,7 %). На рисунках 9, 10 представлены графические зависимости погрешности регистрации пространственных характеристик и ускорения движущегося объекта от разрешения и углов обзора камер, исходного расстояния маркера до камер.

Производственные испытания проводились в два этапа:

1. Испытания манипуляторов МД-Ф-1 до и после проведения технического обслуживания и настройки рациональных режимных параметров (регулировали уровень крепления кронштейна манипулятора и величину вакуумметрического давления).

2. Сравнительные испытания манипуляторов МД-Ф-1 и PULSATRONIC M.

В результате испытаний выявлены различия в характеристиках работы манипулятора до и после технического обслуживания (таблица 1). Регулировка уровня крепления кронштейна манипулятора позволила улучшить показатели соответствия углов отклонения соска и доильного стакана. Техническое обслуживание и настройка вакуумметрического давления (47,8 кПа) привели к снижению значений интенсивности молокоотдачи для додоя и снятия доильных стаканов. В целом проделанные операции позволили улучшить показатели безопасности снятия доильных стаканов, уменьшить среднее время доения на 37,8 с. Величина удоя за дойку, без учета додоя, увеличилась на 0,48 кг, додоя – на 1,12 кг.

Значения парных коэффициентов корреляции факторов производственного эксперимента (таблица 2) подтвердили зависимость качественных характеристик машинного доения от выбранных критериев оценки эффективности работы манипулятора.

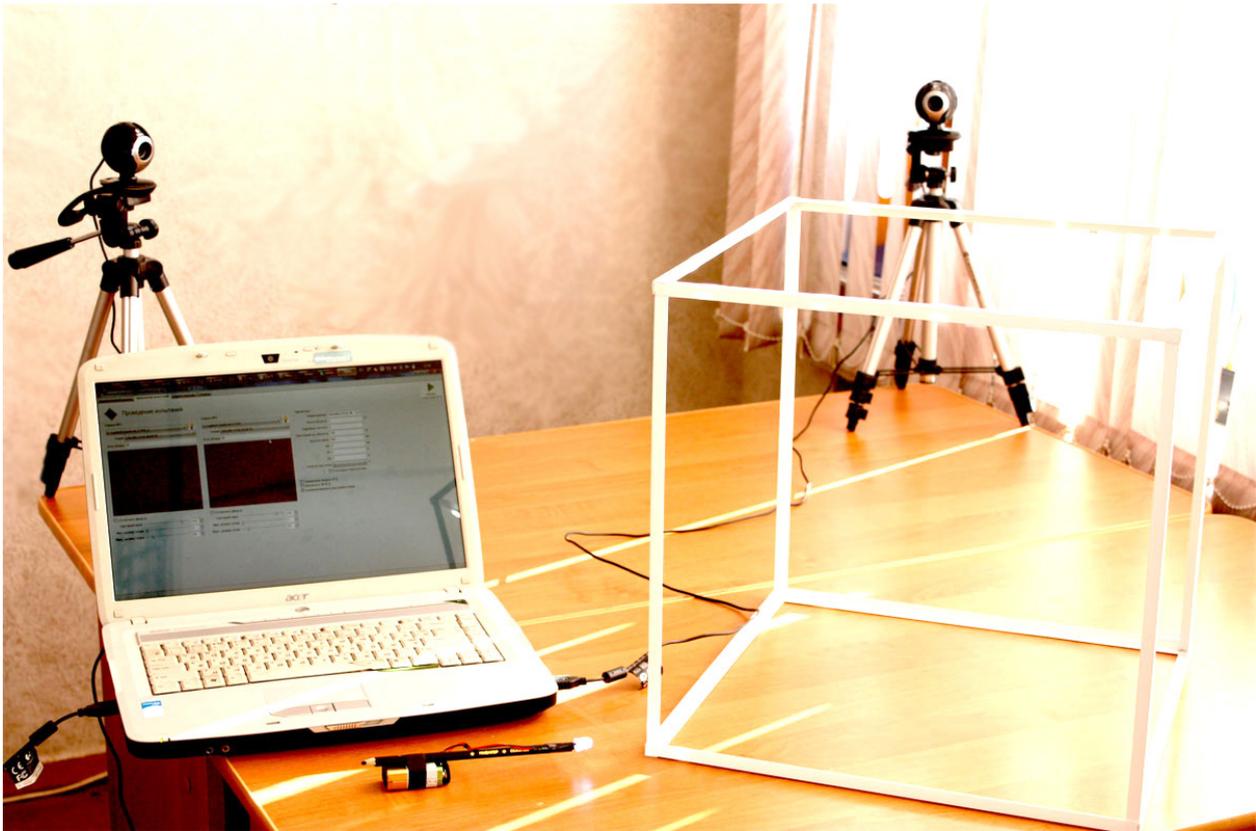


Рисунок 7 – Цикл опытов по определению погрешности регистрации траектории движения



Рисунок 8 – Производственные испытания манипуляторов

$$ErrL = 125,445553 - \alpha \cdot 4,471500 + \alpha^2 \cdot 0,039431 - W \cdot R \cdot 0,000048 - W \cdot \alpha \cdot 0,001944 + R \cdot \alpha \cdot 0,001258 \quad (15)$$

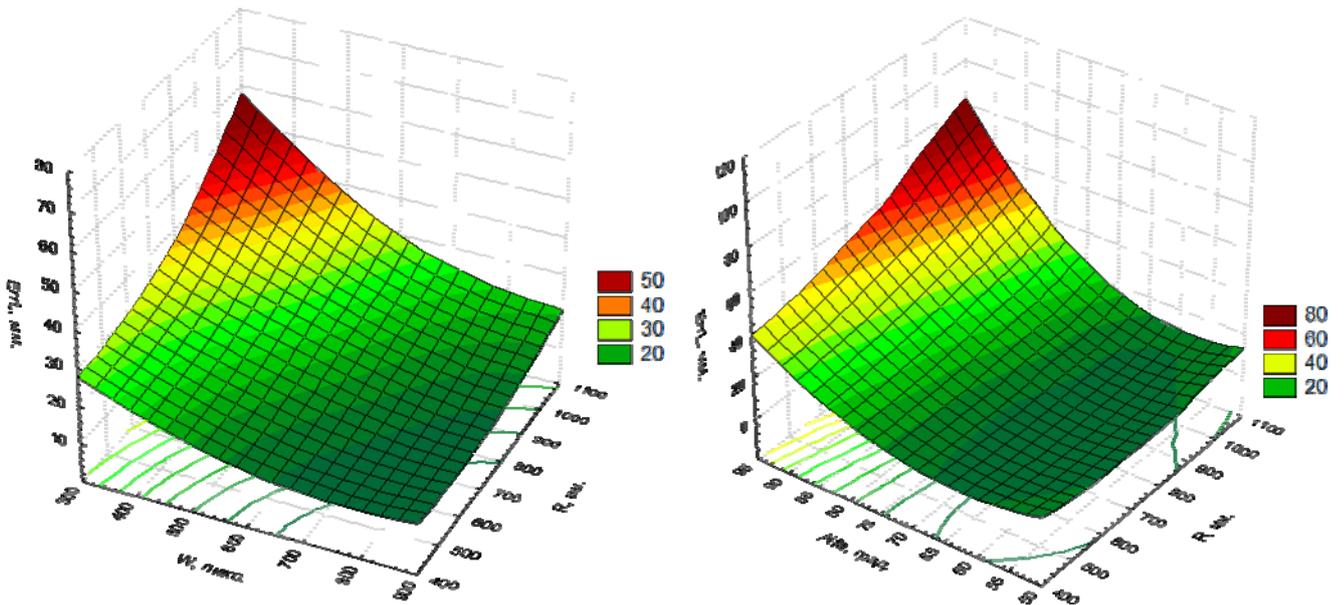


Рисунок 9 – Графическая зависимость погрешности регистрации пространственных характеристик объекта ($ErrL$, мм) от разрешения (W , пикс), углов обзора (α , град) камер и исходного расстояния маркера до камер (R , мм)

$$ErrA = 12,739866 - \alpha \cdot 0,323549 + W^2 \cdot 0,000011 + \alpha^2 \cdot 0,002557 - W \cdot \alpha \cdot 0,000095 + R \cdot \alpha \cdot 0,000085 \quad (16)$$

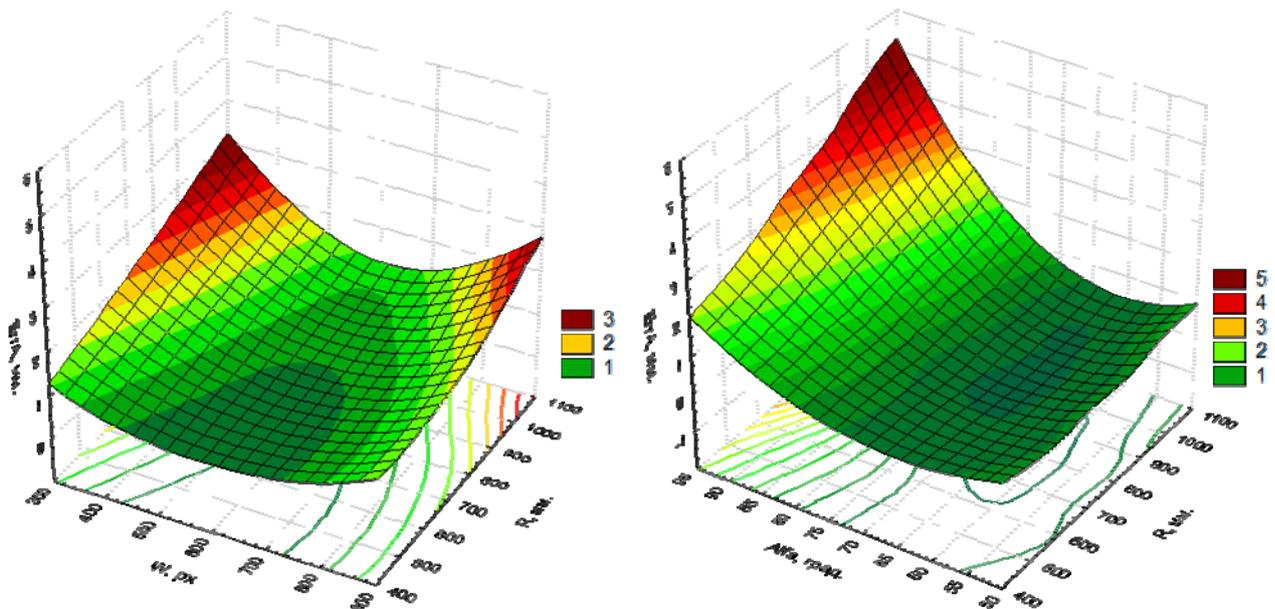


Рисунок 10 – Графическая зависимость погрешности регистрации ускорения свободного падения объекта ($ErrA$, мм) от разрешения (W , пикс), углов обзора (α , град) камер и исходного расстояния маркера до камер (R , мм)

Таблица 1 – Результаты испытаний манипулятора МД-Ф-1

	МД-Ф-1, до технического обслуживания	МД-Ф-1 после техническо- го обслуживания	Разница
Соответствие отклонения доильных стаканов от естественного положе- ния сосков при: доения, %	50,00	25,00	-25
додаивании, %	41,67	33,33	-8
Интенсивность молоковыведения при которой манипулятор переходит в режимы: додаивания, г/мин	441 ± 25	399 ± 18	-42
отключения доильного аппа- рата, г/мин	204 ± 20	171 ± 16	-33
Разница ускорения движения до- ильных стаканов при их снятии и ускорения свободного падения, м/с ²	1,2 ± 0,8	0,49 ± 0,28	0,76
Время доения, мин	4,81 ± 0,85	4,18 ± 0,94	-0,63
Масса удоя за дойку (без додоя), кг	5,43 ± 0,8	5,92 ± 0,74	0,48
Масса додоя, кг	0,68 ± 0,17	1,7 ± 0,41	1,12

Таблица 2 – Парные коэффициенты корреляции факторов эксперимента

	Тугодой- ность	$\Delta\alpha_1$	$\Delta\alpha_2$	Q_1	Q_2	Δa_c	$t_{общ}$	m_y	m_d
Тугодой- ность	1,00								
$\Delta\alpha_1$	0,41	1,00							
$\Delta\alpha_2$	-0,13	0,00	1,00						
Q_1	0,06	0,16	-0,20	1,00					
Q_2	-0,18	-0,02	0,04	-0,13	1,00				
Δa_c	-0,31	-0,32	0,03	-0,01	-0,17	1,00			
$t_{общ}$	0,88	0,48	-0,17	0,18	-0,16	-0,38	1,00		
m_y	-0,53	-0,44	0,20	-0,52	0,16	0,29	-0,76	1,00	
m_d	-0,19	-0,12	-0,19	0,16	-0,31	-0,06	-0,21	0,07	1,00

где $\Delta\alpha_1$ – отличие углов отклонения от вертикали доильного стакана и соска коровы при доении; $\Delta\alpha_2$ – отличие углов отклонения от вертикали доильного стакана и соска коровы при додаивании; Q_1 – интенсивность молоковыведения для переключения в режим для додаивания; Q_2 – интенсивность молоковыведения для отключения доильного аппарата; Δa_c – разность ускорение движения доильных стаканов при их снятии и ускорения свободного падения; $t_{общ}$ – время доения; m_y – масса удоя; m_d – масса додоя.

Результаты сравнительных испытаний манипуляторов МД-Ф-1 и PULSATRONIC M представлены в таблице 3.

Оба манипулятора обеспечивают безопасное снятие доильных стаканов. Преимуществом манипулятора МД-Ф-1 является возможность отклонения доильных стаканов в направлении естественного положения сосков.

Следует отметить что, в отличие от МД-Ф-1 в манипуляторе PULSATRONIC M используется индивидуальный подход к доению. Манипулятор способен распознавать легкодойных и тудогойных коров (в зависимости от интенсивности молоковыведения в первые две минуты доения) и подбирать оптимальный режим доения. Кроме того, PULSATRONIC M имеет более простую конструкцию и, соответственно, менее требователен к регулярному техническому обслуживанию.

Тем не менее, при условии регулярного контроля эффективности работы, манипулятор МД-Ф-1 не уступает по качественным характеристикам доения манипулятору PULSATRONIC M.

Таблица 3 – Результаты сравнительных испытаний манипуляторов МД-Ф-1 и PULSATRONIC M

	МД-Ф-1	PULSATRONIC M
Характеристики работы манипуляторов		
Интенсивность молоковыведения при которой манипулятор переходит в режим отключения доильного аппарата, г/мин	170 ± 16	200 ± 5
Ускорение движения доильных стаканов после снятия, м/с ²	$10,39 \pm 0,28$	$10,2 \pm 0,2$
Характеристики стада и эффективности машинного доения		
Среднее время доения, мин	$4,18 \pm 0,94$	$4,61 \pm 0,88$
Масса удоя за дойку (без учета додоя), кг	$5,92 \pm 0,74$	$5,61 \pm 0,57$
Масса додоя, кг	$1,7 \pm 0,41$	$0,93 \pm 0,08$
Количество коров с сосками отклоняющимися от вертикали более 5°, %	15	8
Заболеваемость животных маститом, %	11	5

Годовой экономический эффект по приросту прибыли от реализации продукции, в расчете на 200 коров со среднегодовой продуктивностью 3480 кг/год, составил 315 198 руб., срок окупаемости капитальных вложений 1,2 года.

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ И РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

1. Проведение испытаний манипуляторов доения и оценка эффективности их работы является актуальной задачей. Классификация технических средств для испытаний доильной техники позволила выявить перспективное направление в оценке эффективности работы манипуляторов доения – создание комплекса для испытаний манипуляторов доения на основе системы регистрации движения.

2. Теоретическое обоснование процесса испытания манипуляторов доения позволило определить критерии эффективности их работы:

– отклонение манипулятором доильных стаканов при доении и додаивании, оптимальные значения углов: $[0^\circ \dots 5^\circ]$, $(5^\circ \dots 15^\circ]$, $(15^\circ \dots 25^\circ]$, в зависимости от угла наклона сосков коровы;

– значения интенсивности молоковыведения, при которых манипулятор переходит в режимы додаивания и отключения доильного аппарата, оптимальные значения для додея – 300–600 г/мин, в зависимости от тугодойности коровы, для отключения доильного аппарата – 170–200 г/мин;

– безопасность снятия доильных стаканов, разность ускорения движения доильных стаканов во время снятия и ускорения свободного падения не должна превышать $1,3 \text{ м/с}^2$;

– рабочая зона манипулятора, оптимальные размеры: не менее $0,54 \times 0,52 \times 0,21 \text{ м}$.

3. В соответствии с намеченными направлениями по разработке комплекса для испытаний манипуляторов доения предложена конструктивно-технологическая схема, включающая: систему регистрации движения, программные средства и счетчик молока. В результате теоретического обоснования конструктивно-режимных параметров комплекса получена зависимость погрешности регистрируемых характеристик движения оптической системой от режимных параметров камер и их расположения.

4. Разработан комплекс программ (свидетельства РФ № 2010611056, № 2011617545, № 2011617544) позволяющих в результате испытания строить компьютерную модель работы манипулятора и рассчитывать значения критериев оценки его функционирования.

5. Обработка результатов многофакторного эксперимента позволила определить оптимальные значения режимных параметров комплекса для испытаний манипуляторов доения: разрешение камер 640×480 и более, кадровая частота 30 кадров в секунду; расстояние маркера до камер в 600–900 мм, при этом погрешность определения положения объекта в пространстве составила не более 4,2 мм, погрешность регистрации ускорения движения объекта – не более $0,173 \text{ м/с}^2$.

6. Результаты производственных испытаний манипулятора МД-Ф-1 до и после технического обслуживания и настройки рациональных параметров, выявили различие в характеристиках его работы. Среднее время доения уменьшилось на 37,8 с. Масса удоя за дойку, без учета додея, увеличилась на

0,48 кг, масса додая – на 1,12 кг. Сравнительные испытания серийных манипуляторов МД-Ф-1 и PULSATRONIC M выявили: при регулярном контроле эффективности работы манипулятор МД-Ф-1, не уступает по качественным характеристикам доения манипулятору PULSATRONIC M.

7. Годовой экономический эффект по приросту прибыли от реализации продукции, в расчете на 200 коров со среднегодовой продуктивностью 3480 кг/год, составил 315 198 руб., срок окупаемости капитальных вложений 1,2 года.

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ ДИССЕРТАЦИИ ОПУБЛИКОВАНЫ В СЛЕДУЮЩИХ РАБОТАХ:

Публикации в изданиях, рекомендованных ВАК

1. Соловьев С.А. Теоретические основы определения плавности движения исполнительской части доильного манипулятора / Павлидис В.Д., Солдатов В.Г. // Известия ОГАУ. Оренбург: ОГАУ, 2011. № 2(30). С. 75–77.

2. Солдатов В.Г. Анализ систем регистрации движения применительно к испытаниям доильных манипуляторов // Известия ОГАУ. Оренбург: ОГАУ, 2011. № 4(32). С. 104–107.

3. Соловьев С.А. Обоснование критериев эффективности эксплуатации манипуляторов машинного доения / Колпаков А.В., Солдатов В.Г. // Вестник Российской академии сельскохозяйственных наук. М.: 2012. № 1. С. 79–82.

4. Солдатов В.Г. Теоретическое обоснование выбора параметров комплекса для испытаний манипуляторов машинного доения // Научное обозрение. М.: 2011. № 6. С. 151-156.

5. Солдатов В.Г. Комплекс для испытаний манипуляторов доения в производственных условиях // Известия ОГАУ. Оренбург: ОГАУ, 2012. № 2(34). С. 80–83.

Свидетельства о государственной регистрации программ для ЭВМ

6. Свидетельство РФ № 2010611056 Система видеоанализа движения объектов в пространстве / Солдатов В.Г., Станин М.П. заявитель и патентообладатель ФГОУ ВПО Оренбургский ГАУ (RU). опубл. 04.02.2010.

7. Свидетельство РФ № 2011617544 Расчет плавности изменения значений дискретной функции / Солдатов В.Г. заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВПО Оренбургский ГАУ (RU). опубл. 28.09.2011.

8. Свидетельство РФ № 2011617545 Моделирование и оценка интенсивности молокоотдачи при машинном доении коров автоматизированным манипулятором / Солдатов В.Г., Колпаков А.В. заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВПО Оренбургский ГАУ (RU). опубл. 28.09.2011.

9. Свидетельство РФ № 2009613129 Энергооценка доильных аппаратов / Солдатов В.Г., Шахов В.А. заявитель и патентообладатель ФГОУ ВПО Оренбургский ГАУ (RU). опубл. 16.06.2009.

Публикации в сборниках научных трудов и материалов конференций

10. Соловьев С.А. Современные системы видеозахвата движения в испытаниях роботизированных доильных манипуляторов / Солдатов В.Г. // Научные труды ГНУ ВНИИМЖ Россельхозакадемии: сб. науч. тр. М.: ГНУ ВНИИМЖ Россельхозакадемия, 2009. Т. 20. Ч 2. С. 45–49.

11. Соловьев С.А. Анализ функциональных особенностей доильных роботов ведущих западных фирм / Колпаков А.В., Солдатов В.Г. // Научные труды ГНУ ВНИИМЖ Россельхозакадемии: сб. науч. тр. М.: ГНУ ВНИИМЖ Россельхозакадемия, 2011. Т. 22. Ч. 1. С. 30–37.

Солдатов Виктор Геннадьевич

РАЗРАБОТКА КОМПЛЕКСА ДЛЯ ИСПЫТАНИЙ
МАНИПУЛЯТОРОВ ДОЕНИЯ

*Автореферат диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук*

Подписано в печать 14.04.2012.
Формат 60×84/16. Усл. печ. л. 1,0. Печать трафаретная.
Бумага офсетная. Гарнитура Times New Roman.
Заказ № 4383. Тираж 100 экз.

Отпечатано в Издательском центре ОГАУ.
460795, г. Оренбург, ул. Челюскинцев, 18.
Тел.: (3532) 77-61-43