

*На правах рукописи*

**ЛОГАЧЁВА ОКСАНА ВЛАДИМИРОВНА**

**ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ДОЕНИЯ КОРОВ  
ПЕРЕНОСНЫМИ ДОИЛЬНЫМИ АППАРАТАМИ  
С РЕГУЛЯТОРОМ ВАКУУМА**

Специальность 05.20.01 – Технологии и средства  
механизации сельского хозяйства

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

Саратов 2015

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Саратовский государственный аграрный университет имени Н.И. Вавилова».

Научный руководитель – **Спевак Владимир Яковлевич**, кандидат технических наук, доцент

Официальные оппоненты: **Ужик Владимир Федорович**, доктор технических наук, профессор кафедры «Машины и оборудование в агробизнесе» ФГБОУ ВПО «Белгородский государственный аграрный университет имени В.Я. Горина»

**Борознин Владимир Алексеевич**, кандидат технических наук, доцент кафедры «Процессы и машины в АПК» ФГБОУ ВПО «Волгоградский государственный аграрный университет»

Ведущая организация – ФГБОУ ВПО «Челябинская государственная агроинженерная академия»

Защита диссертации состоится «29» мая 2015 г. в 12:00 часов на заседании диссертационного совета Д 220.061.03 на базе Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Саратовский государственный аграрный университет имени Н.И. Вавилова» по адресу: 410056, г. Саратов, ул. Советская, 60, ауд. 325.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВПО «Саратовский ГАУ» и на сайте: [www.sgau.ru](http://www.sgau.ru).

Отзывы на автореферат направлять по адресу: 410012, г. Саратов, Театральная пл., 1, ученому секретарю диссертационного совета Д 220.061.03, e-mail: [chekmarev.v@yandex.ru](mailto:chekmarev.v@yandex.ru).

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

Ученый секретарь  
диссертационного совета

Чекмарев  
Василий Васильевич

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность темы исследования.** Надежное снабжение населения страны конкурентоспособным продовольствием – одна из важнейших народнохозяйственных задач, стоящих перед Правительством России. Совершенствование машинного доения коров является одним из важных аспектов в общей проблеме механизации производства молока. Его значимость состоит не только в повышении производительности труда операторов машинного доения, но и в обеспечении безопасности здоровья животных за счет полноты их выдаивания. Это приводит к росту продуктивности коров и повышению жирности молока.

Несовершенство конструкций доильных аппаратов приводит к неполному выдаиванию коров, что снижает рентабельность ведения молочного животноводства и является причиной заболевания молочной железы – мастита. Снижение рентабельности производства молока складывается из недополучения запланированного количества молока от больной маститом коровы (от 150 до 200 л на переболевшую корову), ухудшения качества получаемого молока, больших финансовых затрат на лечение больной коровы, а при тяжелой форме болезни и от преждевременной выбраковки, особенно молодых коров, в результате атрофии и индурации вымени (до 30 % переболевших коров преждевременно сдается на мясоперерабатывающие предприятия после 2–3-й лактации), что приводит к удорожанию одного скотоместа. Поэтому повышение эффективности доения коров переносными доильными аппаратами с регулятором вакуума, позволяющего осуществить более полное выдаивание молока, является актуальной задачей.

Диссертационная работа выполнена в соответствии с Постановлением Правительства Российской Федерации № 717 от 14 июля 2012 г. «О Государственной программе развития сельского хозяйства и регулирования рынков сельскохозяйственной продукции, сырья и продовольствия на 2013–2020 годы».

**Степень разработанности темы.** Разработаны и прошли производственную проверку на животноводческих фермах аппараты для доения коров, изучены процессы функционирования переносных доильных аппаратов и управления вакуумметрическим давлением в подсосковых камерах доильных стаканов с целью улучшения процесса доения коров в зависимости от молокоотдачи.

Представленная к защите работа направлена на улучшение физиологичности процесса доения, увеличение количества и жирности получаемого молока, снижение негативного влияния доильного аппарата на здоровье животного.

**Цель работы** – повысить полноту выдаивания коров переносными доильными аппаратами с регулятором вакуума путем обоснования их конструкционно-режимных параметров.

**Задачи исследований:**

разработать классификацию и обосновать перспективное направление в создании переносных доильных аппаратов со сбором молока в доильное ведро, связанное с режимом доения, регулируемым в соответствии с молокоотдачей коров;

разработать и обосновать конструкционно-технологическую схему доильного аппарата со сбором молока в доильное ведро, осуществляющего регулирование глубины разрежения вакуума в подсосковой камере доильных стаканов;

теоретически обосновать рабочий процесс доения предлагаемым доильным аппаратом с регулятором вакуума и его конструкционно-режимные параметры;

экспериментально исследовать влияние конструкционно-режимных параметров переносного доильного аппарата на полноту выдаивания коров;

провести производственные испытания переносного доильного аппарата с регулятором вакуума и дать технико-экономическую оценку его использования.

**Научная новизна** работы заключается в разработке классификации доильных аппаратов; конструкционно-технологической схемы переносного доильного аппарата с регулятором вакуума; получении теоретических и экспериментальных зависимостей для обоснования его рабочего процесса и разработке методики исследования конструкционно-режимных параметров переносных доильных аппаратов с регулятором вакуума.

**Теоретическая и практическая значимость работы** состоит в получении аналитических выражений для определения высоты и времени подъема поплавок в зависимости от интенсивности молокоотдачи, расхода молока через регулируемое выходное отверстие корпуса регулятора вакуума; обосновании конструкционно-режимных параметров регулятора вакуума. Получены формулы для расчета скорости течения воздуха в наиболее узком поперечном сечении струи и продолжительности впуска

воздуха. Обоснована конструкционно-технологическая схема переносного доильного аппарата с регулятором вакуума (патент RU 130787 А 01 J7/00). Опытный образец переносного доильного аппарата с регулируемые режимами доения внедрен на молочнотоварной ферме СХА «Звезда» Балашовского района и на молочнотоварной ферме СХА «Михайловское» Марковского района Саратовской области. Полученные результаты могут быть использованы проектными и конструкторскими организациями при создании и модернизации доильных аппаратов на стадии проектирования.

**Методология и методы исследования.** Методологическую основу исследований составили методы системного анализа и математической статистики. Аналитическое описание технологических процессов выполнялось с использованием законов и методов классической механики, гидравлики и математического анализа. Исследования проводились с использованием известных и вновь разработанных приборов и методик. Обработка экспериментальных исследований осуществлялась на ПЭВМ с использованием программ Mathcad 12, КОМПАС 3D LT V12, Excel.

**Положения, выносимые на защиту:**

разработка классификации доильных аппаратов и определение перспективного направления в создании переносных доильных аппаратов с регулятором вакуума со сбором молока в доильное ведро, изменяющегося в соответствии с молокоотдачей коров;

конструкционно-технологическая схема переносного доильного аппарата с регулятором вакуума;

полученные аналитические выражения для определения основных конструкционно-режимных параметров переносного доильного аппарата с регулятором вакуума;

результаты экспериментальных исследований по изучению влияния выбранных факторов на критерий оптимизации переносного доильного аппарата с регулятором вакуума и обоснования конструкционно-режимных параметров.

**Степень достоверности и апробация результатов** обеспечена достаточной сходимостью теоретических и экспериментальных данных, подтверждаются экспериментальными исследованиями, выполненными в условиях, максимально приближенных к эксплуатационным. Основные научные положения, выводы и практические рекомендации диссертации доложены и одобрены на научно-практических конференциях ФГБОУ ВПО «Саратовский ГАУ» (Саратов, 2009–2014 гг.), на Международной

научно-практической конференции, посвященной 80-летию со дня рождения профессора Кобы В.Г. (Саратов, 2011 г.), Международной научно-практической конференции «Инновации, наука и образование XXI века» (Саратов, 2010 г.), VII Всероссийской научно-практической конференции «Аграрная наука в XXI веке: проблемы и перспективы» (Саратов, 2013 г.).

**Публикации.** По теме диссертации опубликовано 9 печатных работ, в том числе 4 – в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных ВАК Минобрнауки РФ. Получен 1 патент РФ на полезную модель. Общий объем публикаций – 2,0 п.л., из них лично соискателю принадлежит 1,3 п. л.

**Структура и объем диссертации.** Диссертация изложена на 171 страницах компьютерного текста, состоит из введения, 5 глав и выводов. Включает в себя 10 таблиц, 57 рисунков и 5 приложений. Список использованной литературы содержит 183 источника.

## СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во **введении** обоснованы актуальность темы, ее научная и практическая значимость, изложены основные положения, выносимые на защиту.

В **первой главе «Состояние вопроса исследований доильных аппаратов для машинного доения коров. Цель и задачи исследований»** представлены исходные положения и результаты ретроспективного анализа предшествующих исследований доильных аппаратов и систем регулирования процесса молоковыведения, включая аппараты с регулируемые режимами доения коров.

Совершенствованию процесса доения и средств молоковыведения и разработке новых доильных аппаратов посвящены работы Л.П. Карташова, В.Ф. Королева, И.Н. Краснова, В.Ф. Ужика, П.И. Огородникова, Ю.А. Цой, С.А. Соловьева, Л.П. Кормановского, Э.К. Вальдмана, И.К. Винникова, С.Я. Горма, В.А. Дриго, А.И. Зеленцова, И.В. Капустина, И.А. Келписа и др.

В ходе исследований было установлено, что наибольшее количество трудов посвящено изучению изменяющейся величины вакуумметрического давления в камерах доильных стаканов, воздействие которой, по мнению многих ученых, должно соответствовать физиологическим требованиям коровы и изменяться в зависимости от скорости и интенсивности молокоотдачи животного.

На основе обзора конструкционных решений разработана классификация доильных аппаратов (рисунок 1).



Рисунок 1 – Классификация доильных аппаратов

Ее анализ позволил определить перспективное направление в разработке доильных аппаратов с регулятором вакуума, работа которых может осуществляться по следующим этапам (см. рисунок 2).

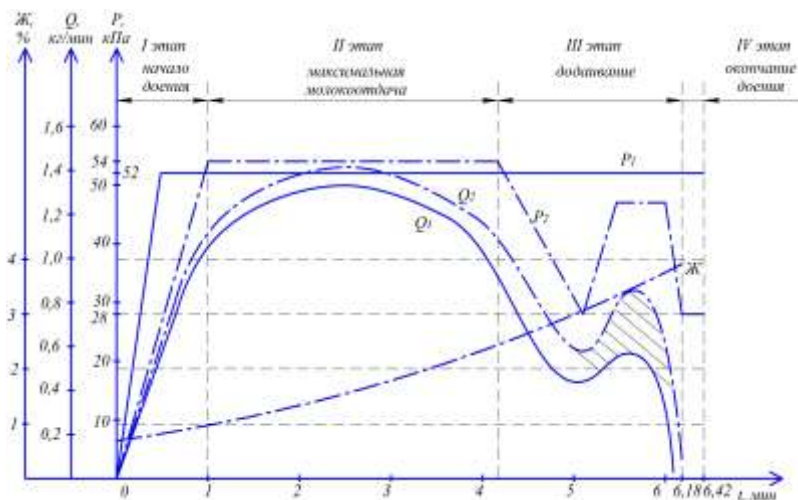


Рисунок 2 – Изменение вакуумметрического давления, молокоотдачи, жирности молока от времени доения: — — — — — вакуумметрическое давление в доильном аппарате АДУ-1,  $p_1$ ; — — — — — вакуумметрическое давление в предлагаемом доильном аппарате,  $p_2$ ; — — — — — молокоотдача в доильном аппарате АДУ-1,  $Q_1$ ; — — — — — молокоотдача в предлагаемом доильном аппарате,  $Q_2$ ; — — — — — жирность молока,  $Ж$

Известно, что процесс доения состоит из четырех этапов: начало доения, максимальная молокоотдача, процесс додаивания и окончание доения.

I этап – начало доения (рисунок 2). При доении серийным доильным аппаратом АДУ-1 вакуумметрическое давление интенсивно возрастает с 0 до 52 кПа. В предлагаемом доильном аппарате вакуум постепенно возрастает с 0 до 54 кПа за счет установки регулятора вакуума, тем самым обеспечивая щадящий режим доения.

II этап – максимальная молокоотдача. На этом этапе в доильном аппарате АДУ-1 вакуумметрическое давление составляет 52 кПа, а в предлагаемой конструкции – 54 кПа. Это обеспечивает более быстрый отвод молока в период максимальной молокоотдачи в отличие от серийного доильного аппарата АДУ-1.



III этап – додаивание. Молокоотдача коровы на данном этапе снижается до минимального уровня, при этом происходит наполнение доильных стаканов на устье соска, что затрудняет процесс отвода молока при постоянном вакуумметрическом давлении 52 кПа у доильного аппарата АДУ-1. В предлагаемом доильном аппарате за счет снижения вакуумметрического давления в подсосковой камере до 28 кПа наполнение доильных стаканов на устье соска минимально, что облегчает процесс отвода молока из вымени, тем самым обеспечивается более полное выдаивание коровы.

IV этап – окончание доения и снятие доильных стаканов. На этом этапе вакуумметрическое давление в доильном аппарате АДУ-1 составляет 52 кПа. При отсутствии молокоотдачи происходит негативное воздействие вакуума на нервные окончания и кровеносные сосуды сосков. В предлагаемом доильном аппарате вакуумметрическое давление 28 кПа не оказывает негативного воздействия на вымя.

За счет применения регулятора вакуума молокоотдача коровы при доении предлагаемым доильным аппаратом выше, чем у серийного доильного аппарата АДУ-1. Особенно это ярко выражено на третьем этапе доения, когда жирность молока максимальна.

Во второй главе *«Теоретические исследования рабочего процесса переносного доильного аппарата с регулятором вакуума и определение его конструкционно-режимных параметров»* представлена конструкция предлагаемого переносного доильного аппарата (рисунок 3), описана его работа, представлены результаты теоретических исследований и обоснование его конструкционно-режимных параметров.

Предлагаемый переносной доильный аппарат (см. рисунок 3) с регулятором вакуума в соответствии с молокоотдачей животного работает следующим образом. При подключении аппарата к линии номинального вакуума 54 кПа последний распространяется в пульсатор, далее – в коллектор и в межстенные камеры доильных стаканов 17. В то же время вакуум проникает в доильное ведро 1, регулятор вакуума 2 и по вакуумному шлангу в подсосковую камеру доильных стаканов 17.

Поскольку в регуляторе вакуума 2 молоко отсутствует, величина вакуума в подсосковой камере доильных стаканов 17 составляет 28 кПа. В процессе доения молоко, поступающее в регулятор вакуума 2, поднимает поплавков 4, за счет чего вакуумметрическое давление регулируется от 28 кПа (начало доения) до 54 кПа (максимальная молокоотдача). При снижении молокоотдачи величина вакуума снижается с 54 до 28 кПа за счет уменьшения количества молока.

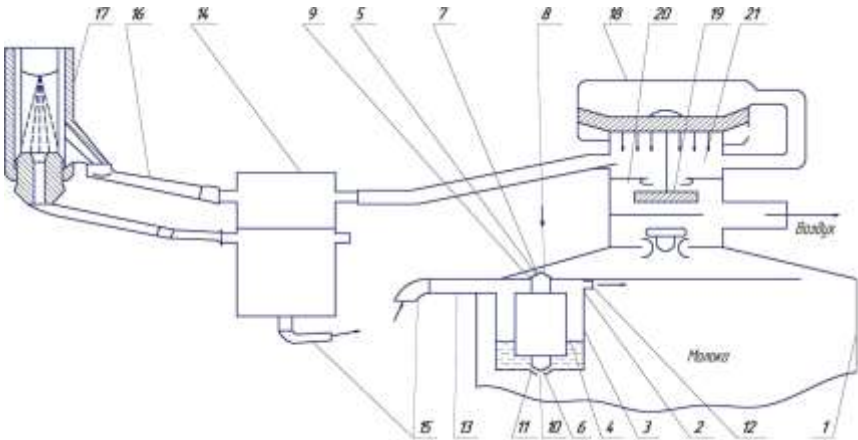


Рисунок 3 – Доильный аппарат с регулятором вакуума (патент на полезную модель № 130787): 1 – доильное ведро; 2 – регулятор вакуума; 3 – корпус; 4 – поплавок; 5 – верхняя игла; 6 – нижняя игла; 7 – проходное сечение; 8 – калиброванный канал для поступления атмосферного воздуха; 9 – головка штуцера; 10 – отверстие выхода молока; 11 – золотник потока молока; 12 – золотник; 13 – штуцер входа молока; 14 – коллектор; 15 – молочный патрубкок; 16 – вакуумный шланг; 17 – доильный стакан; 18 – пульсатор; 19 – клапан; 20 – камера постоянного вакуума; 21 – камера переменного вакуума.

Рассмотрим начало процесса доения для предлагаемого доильного аппарата с регулятором вакуумметрического давления поплавкового типа (рисунок 4, а).

I этап – начало доения (см. рисунок 4, б). Давление в поплавковой камере 1 равно  $p_{в1}$ , поплавок 2 находится в нижнем положении, золотник выхода молока 3 закрыт. С момента времени  $t = 0$  (начало доения) в камере начинает поступать выдаиваемое молоко. Оно накапливается в камере, и в момент времени  $t_1$  под действием увеличивающейся архимедовой силы происходит отрыв поплавка от выходного отверстия и начинается процесс его всплывания. При этом архимедова сила должна превысить вес поплавка  $G$  и разность сил давлений  $p_{в2} - p_{в1}$ .

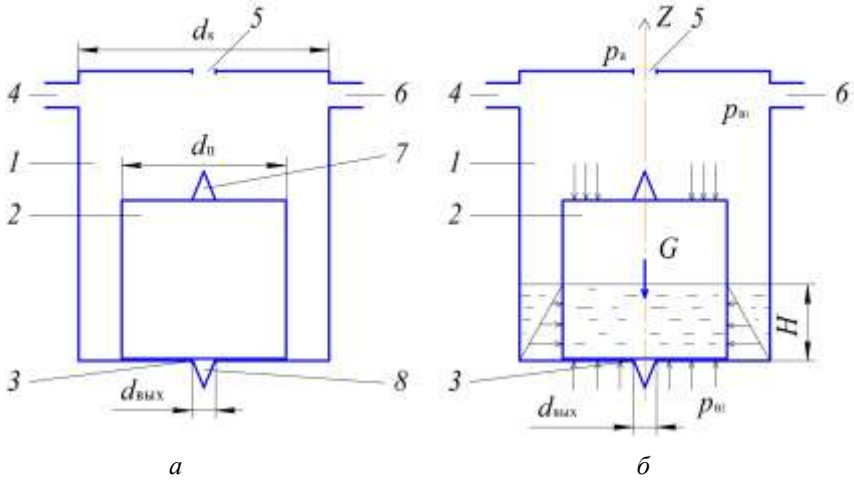


Рисунок 4 – Схема регулятора вакуума: *а* – общая: 1 – поплавковая камера; 2 – поплавок; 3 – золотник выхода молока; 4 – штуцер входа молока; 5 – калиброванный канал для поступления атмосферного воздуха; *б* – золотник регулятора вакуума; 7 – верхняя игла; 8 – нижняя игла; *б* – в начале процесса доения: 1 – поплавочная камера; 2 – поплавок; 3 – золотник выхода молока; 4 – штуцер входа молока; 5 – калиброванный канал для поступления атмосферного воздуха; 6 – золотник регулятора вакуума.

Сумма проекций всех сил на ось  $z$  (см. рисунок 4, б):

$$\sum F_{iz} = -G - (p_a - p_{в1})S + (p_a - p_{в1} + \gamma H)(S - S_{\text{вых}}) + (p_a - p_{в2})S_{\text{вых}} \quad (1)$$

где  $G$  – вес поплавка, Н;  $\gamma$  – удельный вес молока, Н/м<sup>3</sup>;  $p_a$  – атмосферное давление, кПа;  $p_{в1}$  – вакуумметрическое давление в регуляторе вакуума, кПа;  $p_{в2}$  – вакуумметрическое давление в доильном ведре, кПа;  $S$  – площадь поплавка, м<sup>2</sup>;  $H$  – высота всплытия поплавка при открытом выходном отверстии, м;  $S_{\text{вых}}$  – площадь выходного отверстия, м.

При достижении уровня молока в поплавковой камере регулятора вакуума до  $h = H$  поплавок начинает всплывать, выходное отверстие камеры открывается, т. е. количество молока в камере  $Q_m$ :

$$Q_m = \frac{\pi}{4}(d_k^2 - d_p^2)H\gamma_m \quad (2)$$

где  $d_k$  – диаметр камеры, м;  $d_p$  – диаметр поплавка, м;  $\gamma_m$  – плотность молока, кг/м<sup>3</sup>.

Объем молока  $V_{\text{отк}}$ , поступающий в камеру за время  $t$  (по теореме о среднем значении интеграла):

$$V_{\text{отк}} = \int_0^t Q_0(t)(dt) = Q_{0\text{cp}} t_{\text{отк}} \quad (3)$$

где  $Q_{0\text{cp}}$  – средний расход молока, кг/мин;  $t_{\text{отк}}$  – интервал времени до открытия выходного отверстия, мин.

Определим высоту подъема  $H$  поплавка в камере на момент времени  $t_{\text{отк}}$ :

$$H = \frac{mg - (p_{\text{в1}} - p_{\text{в2}})S_{\text{вых}}}{\gamma (S - S_{\text{вых}})} \quad (4)$$

После открытия выходного отверстия камеры молоко начинает поступать через него в доильное ведро, где поддерживается оптимальный по условиям доения вакуум  $p_{\text{в опт}}$ . На этом этапе следует обеспечить условия, при которых поплавок продолжает всплывать (рисунок 5, а). Для этого необходимо, чтобы расход  $Q_0(t)$  был бы больше расхода, пропускаемого выходным отверстием  $Q_{\text{вых}}(t)$ .

Молокоотдача в экспериментальном доильном аппарате выше за счет стимулирования процесса доения. Определим расход молока, проходящего через малое отверстие при переменном напоре:

$$Q_{\text{вых}} = \mu \frac{\pi d_{\text{вых}}^2}{4} \sqrt{2g \left( \frac{p_{\text{в2}} - p_{\text{в1}}}{\gamma} + h(t) \right)} \quad (5)$$

где  $\mu$  – коэффициент расхода отверстия,  $\mu = 0,6$ ;  $\gamma$  – удельный вес молока, Н/м<sup>3</sup>;  $p_{\text{в2}}$ ,  $p_{\text{в1}}$  – заданные оптимальные значения вакуума в ёмкости для молока ( $p_{\text{в2}} = 54$  кПа) и в поплавковой камере ( $p_{\text{в1}} = 28$  кПа).

Выражение для определения времени поднятия поплавка от  $H$  до  $h$ :

$$t = \frac{\pi}{4} (d_{\text{к}}^2 - d_{\text{п}}^2) \int_H^h \frac{dh}{Q_0(t) - \mu \frac{\pi d_{\text{вых}}^2}{4} \sqrt{2g \left( \frac{p_{\text{в2}} - p_{\text{в1}}}{\gamma_{\text{м}}} + h(t) \right)}} + t_{\text{отк}} \quad (6)$$

Для заполнения камеры и всплытия поплавка необходимо, чтобы

$t > t_{\text{отк}}$ . Для этого определим диаметр выходного отверстия  $d_{\text{вых}}$ :

$$d_{\text{вых}} = 2 \sqrt{\frac{KQ_0(t_{\text{отк}})}{\mu\pi \sqrt{2g \left( \frac{P_{\text{в}2} - P_{\text{в}1}}{\gamma} \right) + H}}} \quad (7)$$

Отсюда следует, что диаметр выходного отверстия не зависит от размеров камеры и поплавка, т. е. от  $d_k$  и  $d_{\text{п}}$ .

Масса поплавка  $m$ :

$$m = (p_{\text{в}1} - p_{\text{в}2})S_{\text{вых}} + \gamma_m H (S - S_{\text{вых}}). \quad (8)$$

Этап II – максимальная молокоотдача (см. рисунок 5, б).

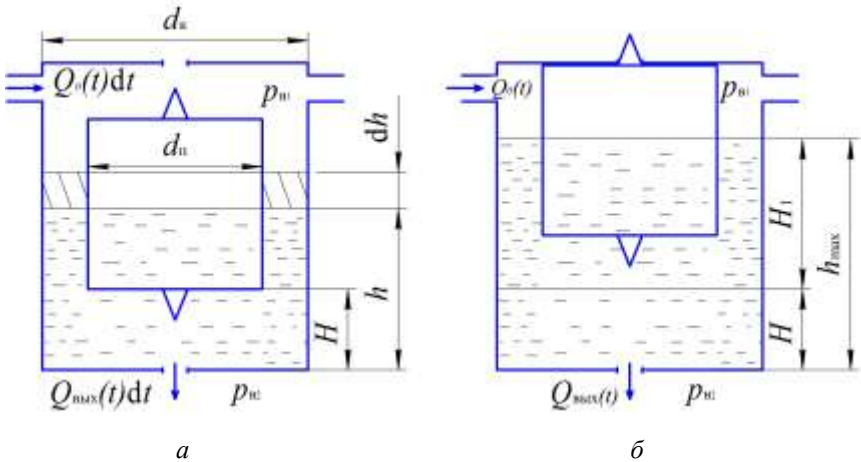


Рисунок 5 – Схема регулятора вакуума: а – от минимальной до максимальной молокоотдачи ; б – при максимальной молокоотдаче

По условиям оптимального доения к моменту времени, когда наступает максимальная молокоотдача, уровень молока в камере должен увеличиться до значения, при котором верхнее отверстие в камере закрывается. Этому условию удовлетворяют значения  $h_{\text{max}} = H + H_1$  и равенство  $Q_{0 \text{ max}} = Q_{\text{max. max}}$  (рисунок 5, б).

Из рисунка 5, б определяем время, когда поплавок должен достичь расчетного положения и подняться на высоту  $H_1$ . Пусть оно равно  $t_{\text{max}}$ :

$$t_{\max} - t_{\text{отк}} = \frac{\pi}{4} (d_k^2 - d_n^2) \frac{H_1}{D}, \quad (9)$$

где  $D$  – постоянная величина,

$$D = \left[ Q_0(t) - \mu \frac{\pi d_{\text{вых}}^2}{4} \sqrt{2g \left( \frac{P_{n_2} - P_{n_1}}{\gamma} + h(t) \right)} \right]_{\text{ср}} \approx$$

$$\approx \left[ \frac{Q_{\max} - Q_{\text{отк}}}{2} - \mu \frac{\pi d_{\text{вх}}^2}{4} \sqrt{2g \left( \frac{P_{B_2} - P_{B_1}}{\gamma} + \frac{H_1}{2} \right)} \right]$$

Необходимо так задать соотношение диаметров камеры и поплавка, чтобы оно удовлетворяло условию обеспечения требуемого времени для поднятия поплавка:

$$d_k^2 \left[ 1 - \left( \frac{d_n}{d_k} \right)^2 \right] = \frac{D(t_{\max} - t_{\text{отк}})}{H_1}. \quad (10)$$

Отсюда получаем диаметр поплавка  $d_n$  :

$$d_n = \sqrt{d_k^2 - \frac{D(t_{\max} - t_{\text{отк}})}{H_1}}. \quad (11)$$

В рассматриваемом промежутке времени наблюдается наиболее продуктивная молокоотдача. На этом этапе сохраняются все рабочие параметры, характерные для момента времени  $t_{\max}$ . Затем происходит процесс додаивания. В предлагаемом переносном доильном аппарате при уменьшении молокоотдачи вакуумметрическое давление снижается до 28 кПа, за счет чего доильные стаканы не пережимают устье соска. Во время процесса додаивания молокоотдача увеличивается и пропорционально возрастает величина вакуума. Последние порции молока наиболее ценные, поскольку в это время жирность молока наибольшая.

Этап III – додаивание (рисунок 2). На этом этапе доения сосок коровы становится мягким в связи со снижением избыточного давления в вымени животного, доильные стаканы доильного аппарата АДУ-1, работающего в жестком режиме (постоянное вакуумметрическое давление 52 кПа), наползают на сосок, пережимают верхнее устье, вследствие чего ограничивается проход молока. В предлагаемом доильном аппарате при снижении молокоотдачи происходит снижение вакуумметрического давления до 28 кПа, за счет чего доильные стаканы не пережимают устье соска. В дальнейшем, во время додаивания, молокоотдача увеличивается и про-

порционально возрастает вакуум. Последние порции молока наиболее ценные, т. к. в это время жирность молока наибольшая.

Этап IV – окончание доения (рисунок 2). На этом этапе молокоотдача с момента  $t_k$  начинает снижаться все интенсивнее. По окончании доения (молокоотдача менее 0,2 кг/мин) в серийном доильном аппарате АДУ-1 вакуумметрическое давление составляет 52 кПа, что обеспечивает жесткий режим доения. В предлагаемом доильном аппарате вакуум снижается до 28 кПа, что обеспечивает щадящий режим доения.

На последнем этапе доения поступление молока  $Q_0(t)$  в камеру становится меньшим, чем убывание молока через выходное отверстие  $Q_{\text{вых}}(t)$ , то есть  $Q_0(t) \leq Q_{\text{вых}}(t)$  (рисунок 5, б). Поплавок начинает опускаться, верхнее отверстие открывается, в верхней части камеры устанавливается вакуумметрическое давление  $p_{в2}$ . Процесс опорожнения камеры продолжается до полного прекращения поступления молока к моменту времени  $T$ . Этот этап выполняется естественным образом, и время  $T$  расчетным путем определять не имеет смысла. Опыт показывает, что время  $T$  составляет примерно 6 мин.

При работе предлагаемого доильного аппарата представляет интерес время переходного периода от такта сосания к такту сжатия в межстенной камере доильного стакана, которое зависит от скорости движения атмосферного воздуха при неустановившемся движении.

С изменением скорости впуска атмосферного воздуха  $v'$  в межстенную камеру доильного стакана изменяется давление  $p$ . От величины давления изменяются скорость деформирования и сила сжатия сосковой резины, а также характер изменения вакуумметрического давления в подсосковой камере.

Получить выражение для определения скорости течения воздуха можно с помощью уравнения Бернулли для идеально сжимаемого газа.

$$\frac{k}{k-1} \cdot \frac{p_a}{\gamma_a} + \frac{v'^2}{2g} = \frac{k}{k-1} \cdot \frac{p}{\gamma_m} + \frac{v^2}{2g}, \quad (12)$$

где  $k$  – показатель адиабатного процесса, для двухатомных газов ;

$v'$  – скорость течения воздуха в межстенной камере доильного стакана, м/с;

$p_a$  – давление атмосферного воздуха, Н/м<sup>2</sup>;

$\gamma_a$  – удельная масса атмосферного воздуха, кг/м<sup>3</sup>;

$p$  – давление воздуха в камере, Н/м<sup>2</sup>;

$\gamma_m$  – удельная масса воздуха в камере, кг/м<sup>3</sup>;

$g$  – ускорение свободного падения, м/с<sup>2</sup>.

Упростив уравнение (12), получим

$$\frac{k}{k-1} \cdot \frac{p_a}{\gamma_a} = \frac{k}{k-1} \cdot \frac{p}{\gamma_m} + \frac{v^2}{2g}. \quad (13)$$

Из выражения (13) получим формулу скорости течения воздуха в наиболее узком поперечном сечении струи:

$$v = \sqrt{\frac{2gk}{k-1} \sqrt{\frac{p}{\gamma_m} - \frac{p_a}{\gamma_a}}}. \quad (14)$$

Учитывая, что за время перехода от такта сосания к такту сжатия давление в межстенной камере доильного стакана меняется в пределах от  $p_1$  до  $p_2$ , выражение для определения перехода от такта сосания к такту сжатия будет иметь вид:

$$t = \frac{5}{2} \frac{V_{\text{вп}}}{p_a^{\frac{1}{7}} \mu a f} [p_a]_{p_1}^{p_2}, \quad (15)$$

где  $V_{\text{вп}}$  – объем межстенной камеры доильного стакана, м<sup>3</sup>;

$p_a$  – давление атмосферного воздуха, Н/м<sup>2</sup>;

$\mu$  – коэффициент расхода;

$f$  – поперечное сечение отверстия, м<sup>2</sup>.

Таким образом, все основные конструкционные параметры устройства: масса поплавка  $m$ , высота подъема поплавка  $H$ , диаметр поплавка  $d_n$ , диаметр выходного отверстия  $d_{\text{вых.отв}}$  – определены, а само устройство работает в заданном режиме.

В третьей главе «Программа и методика экспериментальных исследований рабочего процесса переносного доильного аппарата с регулятором вакуума» изложены общая программа и методика экспериментальных исследований.

Были оптимизированы режимы работы переносного доильного аппарата с регулятором вакуума, что позволяет максимально приблизить работу предлагаемой конструкции к оптимальному регулированию вакуумметрического давления в соответствии с молокоотдачей животного и повысить молокоотдачу по сравнению с серийным аппаратом АДУ-1 (см. рисунок 2, заштрихованная область).

Для проверки конструктивно-режимных параметров предлагаемого доильного аппарата была разработана лабораторная установка (рисунок 3). Снятие необходимых показателей осуществляли с помощью вакуумного толкателя, соединенного с датчиком малых перемещений и через кабель с универсальным 12-канальным самописцем.



Основными задачами исследований являлись изучение протекания процесса доения экспериментальной установкой и проверка теоретических исследований, проведенных ранее. При исследовании за основной показатель, характеризующий работу переносного доильного аппарата с регулятором вакуума, принималось изменение вакуумметрического давления в подсосковых камерах доильных стаканов в соответствии с молокоотдачей.

Поэтому в процессе проведения экспериментальных исследований необходимо было определить закономерность изменения вакуумметрического давления в подсосковых камерах доильных стаканов в зависимости от времени доения, молокоотдачи и величины открытия золотника регулятора вакуума, изменяющего величину подсоса воздуха в доильное ведро доильного аппарата и далее в подсосковые камеры доильных стаканов.

В основу программы проведения экспериментальных исследований был положен метод теории планирования многофакторных экспериментов, который позволяет выявить и оценить влияние факторов на критерий оптимизации, принятый на основе результатов исследований.

В четвертой главе *«Результаты и анализ экспериментальных исследований рабочего процесса, и обоснование оптимальных параметров переносного доильного аппарата с регулятором вакуума»* представлены результаты экспериментальных исследований.

На основе анализа процесса работы экспериментальной установки были выбраны основные уровни варьирования выделенных факторов, которые представлены в таблице 1. Критерием оптимизации был выбран показатель остаточного молока в вымени животного по окончании доения  $Q_{o,m}$ .

Таблица 1 – Факторы, уровни и интервалы варьирования

Фактор	Кодовое обозначение	Интервал варьирования	Уровни фактора		
			основной 0	верхний +1	нижний -1
$d_{п}$ – диаметр поплавка, мм	$X_1$	5	75	80	70
$d_{вых.отв}$ – диаметр выходного отверстия, мм	$X_2$	2	14	16	12
$m$ – масса поплавка, г	$X_3$	50	200	150	250

На основании таблицы 1 была реализована матрица некомпозиционного трехфакторного плана Бокса – Бенкена для исследования переносного доильного аппарата с регулятором вакуума. После обработки результатов экспериментов были получены уравнения регрессии в кодированном (16) и раскодированном (17) видах:

$$y = 0,227 + 0,028 x_1 + 0,052 x_2 - 0,015 x_3 + 0,023 x_1 x_2 - 0,013 x_1 x_3 - 0,008 x_2 x_3 + 0,006 x_1^2 + 0,018 x_2^2 + 0,009 x_3^2, \quad (16)$$

$$Q_{o.m} = 4,738 - 0,11275 d_n - 0,081 d_{\text{вых.отв}} + 0,0166 m + 0,00115 d_n d_{\text{вых.отв}} - 0,000052 d_n m - 0,00004 d_{\text{вых.отв}} m + 0,00024 d_n^2 + 0,001125 d_{\text{вых.отв}}^2 + 0,0000036 m^2. \quad (17)$$

На основании полученных уравнений построены двумерные сечения для изучения влияния исследуемых факторов на показатель остаточного молока в вымени животного по окончании доения  $Q_{o.m}$  (рисунки 6, 7, 8):

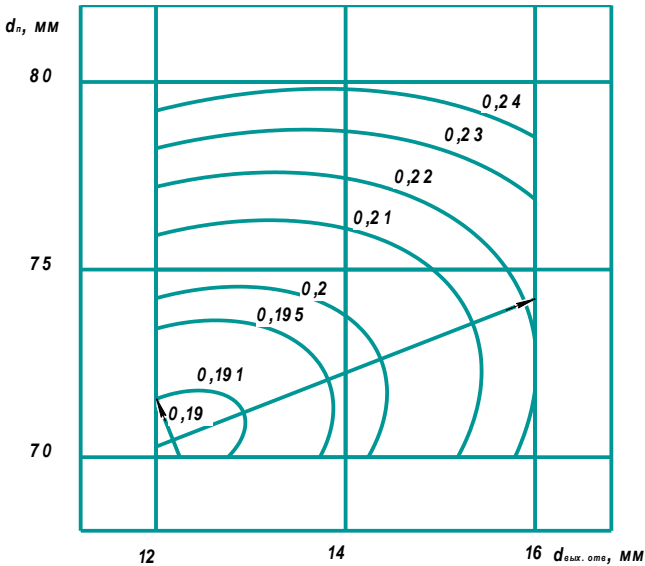


Рисунок 6 – Двумерное сечение поверхности отклика, характеризующее количество остаточного молока  $Q_{o.m}$  в зависимости от диаметра поплавка  $d_n$  ( $X_1$ ) и диаметра выходного отверстия  $d_{\text{вых.отв}}$  ( $X_2$ ) при массе поплавка  $m = 190$  г

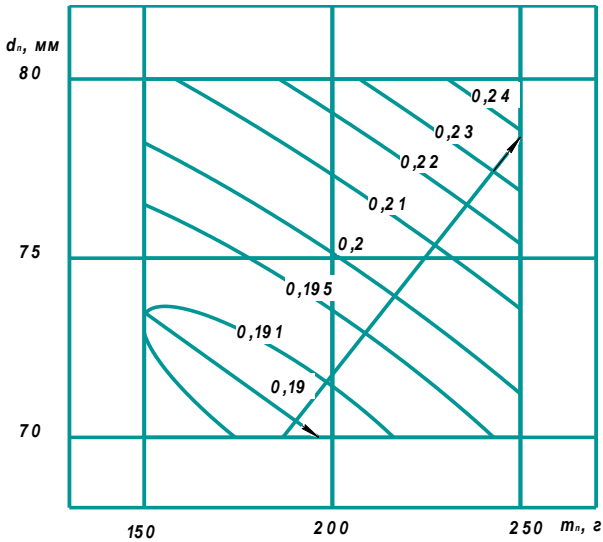


Рисунок 7 – Двумерное сечение поверхности отклика, характеризующее количество остаточного молока  $Q_{о.м}$  в зависимости от диаметра поплавка  $d_{п}$  ( $X_1$ ) и массы поплавка  $m$  ( $X_2$ ) при диаметре выходного отверстия  $d_{вых.отв} = 12,19$  мм

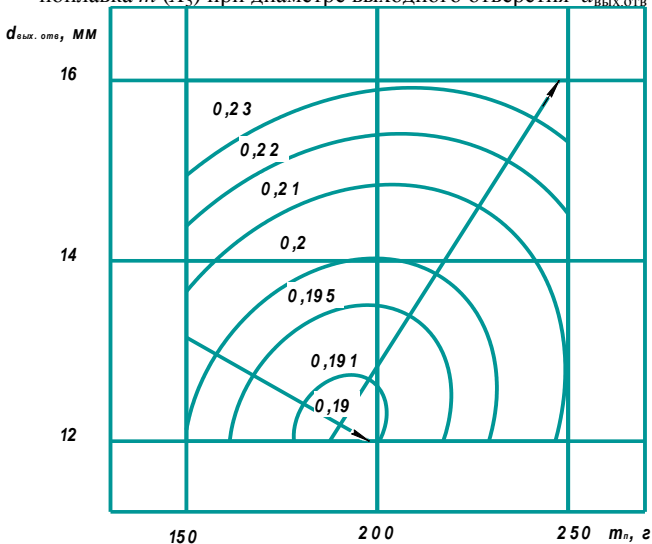


Рисунок 8 – Двумерное сечение поверхности отклика, характеризующее количество остаточного молока  $Q_{о.м}$  в зависимости от диаметра выходного отверстия  $d_{вых.отв}$  ( $X_2$ ) и массы поплавка  $m$  ( $X_3$ ) при диаметре поплавка  $d_{п} = 70,44$  мм

В пятой главе «*Производственная проверка переносного доильного аппарата с регулятором вакуума, внедрение и экономическая оценка результатов исследований*» представлены результаты производственной проверки предлагаемого доильного аппарата, а также рассчитан экономический эффект от его внедрения.

Проверку переносного доильного аппарата с регулятором вакуума проводили в СХА «Михайловское» Марковского района Саратовской области и в СХА «Звезда» Балашовского района Саратовской области. По результатам производственных испытаний доильный аппарат признан перспективным.

Результаты производственной проверки переносного доильного аппарата с регулятором вакуума по качественным показателям, приведенные в таблице 2, показывают, что полнота выдаивания животных тестируемым устройством выгодно отличает его от применяемых в коровнике аппаратов АДУ-1. Сходимость данных результатов проверялась по t-критерию Стьюдента. Сравнивая полученные значения t-критерия Стьюдента с критическим значением 2,002 делаем вывод о том, что рассчитанные значения критерия больше критического, и наблюдаемые различия статистически значимы (уровень значимости  $p < 0,05$ ).

Таблица 2 – Результаты производственных испытаний доильных аппаратов

Показатель	Доильный аппарат		t-критерий Стьюдента
	АДУ-1	предлагаемая конструкция	
Суточный удой, кг	9,27±1,23	9,65±1,23	2,15
Жирность молока, %	3,49±0,22	3,58±0,31	2,21
Время доения, мин	6,42±0,82	6,18±0,89	2,05
Остаточное молоко, кг	0,38±0,15	0,19±0,10	2,43
Скорость молокоотдачи, кг/мин	0,74±0,12	0,84±0,10	5,44

Получены следующие экономические показатели: годовой экономический эффект по приведенным затратам в расчете на одну корову 79,54 руб.; годовой экономический эффект с учетом роста молочной продуктивности в расчете на одну корову 1942,6 руб.; срок окупаемости составил 2,28 года.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1 Проведенный анализ доильных аппаратов и разработанная их классификация позволили выявить перспективное направление в создании переносного доильного аппарата с регулятором вакуума, теоретически обосновать конструкционно-режимные параметры опытного образца, которые подтверждены теоретическими и экспериментальными результатами, производственной проверкой и расчетом технико-экономической эффективности.

2 На основе анализа литературных источников и существующих конструкций доильных аппаратов была разработана их классификация, определено перспективное направление в конструировании, и обоснованы параметры переносного доильного аппарата.

3 Разработана и обоснована конструкционно-технологическая схема переносного доильного аппарата со сбором молока в доильное ведро, с режимом доения, регулируемым в соответствии с молокоотдачей животного (патент РФ 130787 А 01 J 7/00).

4 Теоретический анализ предлагаемого переносного доильного аппарата с регулятором вакуума позволил получить аналитические выражения для определения высоты подъема поплавка (4), расхода молока через выходное отверстие (5), времени поднятия поплавка (6), диаметра выходного отверстия регулятора вакуума (7), массы поплавка регулятора вакуума (8).

5 Экспериментально определены оптимальные конструкционно-режимные параметры переносного доильного аппарата с регулятором вакуума при остаточном молоке в вымени 190 г: диаметр поплавка  $d_{п} = 70,44$  мм; масса поплавка  $m = 190$  г; диаметр выходного отверстия  $d_{вых.отв} = 12,19$  мм.

6 Производственные испытания предлагаемого доильного аппарата с регулятором вакуума показали, что устройство работоспособно, при этом качественные показатели (скорость доения, полнота выдаивания, количество остаточного молока) находятся в пределах зоотехнической нормы и значительно превосходят качественные показатели серийно выпускаемого доильного аппарата АДУ-1. Проведена оценка результатов исследований через сводные показатели технико-экономической эффективности от

внедрения разработанной конструкции доильного аппарата с регулятором вакуума. Годовой экономический эффект от внедрения одного переносного доильного аппарата с регулятором вакуума в сравнении с однотипным серийно выпускаемым доильным аппаратом АДУ-1 по приведенным затратам в расчете на одну корову составляет 79,54 руб.; годовой экономический эффект с учетом роста молочной продуктивности в расчете на одну корову – 1942,6 руб.; срок окупаемости 2,28 года.

**Рекомендации.** Полученные результаты могут быть использованы проектными и конструкторскими организациями на стадии проектирования новых доильных аппаратов, в учебном процессе – студентами, аспирантами и научными сотрудниками.

**Перспектива дальнейшей разработки темы:** совершенствование технологий и средств механизации доения с регулируемым вакуумом в зависимости от молокоотдачи коров, позволяющие повысить их продуктивность, жирность молока и снизить заболевание маститом.

## СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО МАТЕРИАЛАМ ДИССЕРТАЦИИ

### Статьи в рецензируемых научных журналах

1 *Михеева, О. В. (Логачёва, О.В.)* Теоретическое исследование начала работы регулятора вакуума доильного аппарата [Текст] / О. В. Михеева, А. В. Продивлянов // Научное обозрение. – 2010. – № 5. – С. 87–90.

2 *Михеева, О. В. (Логачёва, О.В.)* Обоснование конструктивных параметров доильного аппарата на основании разработанной классификации [Текст] / О. В. Михеева, А. В. Продивлянов // Научное обозрение. – 2011. – № 2. – С. 42–45.

3 *Михеева, О. В. (Логачёва, О.В.)* Испытание и внедрение доильного аппарата конструкции ФГБОУ ВПО «Саратовский ГАУ» [Текст] / О. В. Михеева, А. В. Продивлянов // Научное обозрение. – 2012. – № 2. – С. 246–248.

4 *Логачёва, О. В.* Определение времени и скорости изменения вакуумметрического давления в камерах доильных стаканов [Текст] / О. В. Логачёва, А. В. Продивлянов // Вестник Саратовского госагроуниверситета им. Н.И. Вавилова. – 2014. – № 5. – С. 40–42.

### Патенты

1 Патент на полезную модель 130787 Российская Федерация, МПК А 01 J 7/00. Доильный аппарат [Текст] / Продивлянов А. В., Логачёва О. В., Шумихин А. С.; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВПО «Саратовский государственный аграрный университет имени Н.И. Вавилова». – № 2013112306/13 ; заявл. 19.03.2013 ; опубл. 10.08.2013, Бюл. № 22.

### Публикации в других изданиях

1. *Михеева, О. В. (Логачёва, О.В.)* Доильный аппарат с щадящим режимом работы [Текст] / О. В. Михеева, А. В. Продивлянов // Инновации, наука и образование XXI века : Междунар. науч.-практ. конф. / ФГОУ ВПО «Саратовский ГАУ». – Саратов, 2010. – С. 140–143.

2. *Михеева, О. В. (Логачёва, О.В.)* Математическое обоснование работы доильного аппарата с щадящим режимом работы [Текст] / О. В. Михеева, А. В. Продивлянов // Материалы Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 80-летию со дня рождения профессора Кобы В. Г. / ФГОУ ВПО «Саратовский ГАУ». – Саратов, 2011. – С. 114–116.

3. *Логачёва О. В.* Совершенствование процесса доения коров и разработка переносного доильного аппарата с регулируемым вакуумом [Текст] / В. Я Спевак, О. В. Логачёва // Конференция ППС и аспирантов по итогам научно-исследовательской, учебно-методической и воспитательной работе / ООО «Цесаин». – Саратов, 2015. – С. 50–53.

---

Подписано в печать

Формат 60×84 1/16

Печ. л. 1,0

Тираж 100

Заказ

---