

На правах рукописи

ПЕТРОВ Игорь Евгеньевич

**ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ДОИЛЬНОГО АППАРАТА
С НЕЗАВИСИМЫМ ВАКУУМНЫМ РЕЖИМОМ**

Специальность 05.20.01 – технология и средства
механизации сельского хозяйства

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Москва
2017

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

Научный руководитель

Кирсанов Владимир Вячеславович

доктор технических наук, профессор кафедры «Автоматизации и механизации животноводства» ФГБОУ ВО РГАУ – МСХА имени К.А. Тимирязева

Официальные оппоненты:

Ушаков Юрий Андреевич

доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Математики и теоретической механики» ФГБОУ ВО «Оренбургский государственный аграрный университет»

Мишуров Николай Петрович

кандидат технических наук, первый заместитель-заместитель директора по научной работе ФГБНУ «Российский научно-исследовательский институт информации и технико-экономических исследований по инженерно-техническому обеспечению агропромышленного комплекса»

Ведущая организация

ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт механизации животноводства»

Защита состоится «15» июня 2017г. в 16.30 на заседании диссертационного совета Д 220.043.14 на базе ФГБОУ ВО РГАУ – МСХА имени К.А. Тимирязева» по адресу: 127550, г. Москва, ул. Прянишникова, д.19 тел/факс: 8(499)976-21-84.

С диссертацией можно ознакомиться в Центральной научной библиотеке имени Н.И.Железнова ФГБУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева» и на сайте университета www.timacad.ru

Автореферат разослан « » апреля 2017 г.

Ученый секретарь диссертационного совета



Е.А. Улюкина

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы работы. В современных условиях сельскохозяйственного производства создание независимой сырьевой базы в отрасли молочного скотоводства является первоочередной задачей, особенно в направлении импортозамещения. Для интенсивного развития отрасли молочного скотоводства, в рамках Государственной программы развития АПК РФ на период до 2020 года, разработка новых типов доильного оборудования, отвечающих современным требованиям научно технического прогресса, является актуальной задачей.

Технологическая и техническая модернизация доильных установок, а также создание новых типов доильных аппаратов, оказывающих щадящее воздействие на биологические объекты (животных) и получаемую молочную продукцию позволяет определить направления исследований и совершенствование сложной многоуровневой биотехнической системы. Разработка новых конструкций и режимов работы доильных аппаратов, позволяющих регулировать рабочие параметры в зависимости от индивидуальных особенностей животных возможно на основе системного подхода, методов математического моделирования, обеспечивающих оптимизацию основных технологических параметров доения животных, направленных на повышение качества функционирования системы, «доильный аппарат – животное», снижение энергоемкости процесса, подчеркивают актуальность выполнения работы.

Степень разработанности темы. В диссертационной работе, на основании теоретических и экспериментальных исследований, полученных моделей молоковыведения и транспортирования молока предложен новый способ работы доильного аппарата с независимым вакуумом, обоснованы основные параметры и режимы его функционирования. Выполненный

углубленный анализ конструкций доильных аппаратов отечественного и зарубежного производства показал наличие отклонений их качественных показателей от установленных требований по функционированию системы «доильный аппарат - животное». На основании выполненного анализа предложен новый способ стабилизации вакуумного режима доильного аппарата с использованием встроенного в коллектор диафрагменного насоса, позволяющего обеспечить независимый от высоты подъема молока вакуумный режим и исключить впуск воздуха для транспортирования молока.

Цель исследования. Обоснование и экспериментальная проверка конструктивно-режимных параметров экспериментального доильного аппарата с независимым вакуумным режимом.

Задачи исследования.

1. Провести анализ выполненных разработок в данной предметной области;
2. Провести теоретические исследования процессов молоковыведения и транспортирования молока из вымени коров в молокопровод с использованием встроенного в коллектор диафрагменного насоса, приводимого от пульсатора;
3. Разработать математическую модель и обосновать параметры доильного аппарата со стабилизацией подсоскового вакуума и пониженной вакуумной нагрузкой на соски животных при разных скоростях молокоотдачи и транспортированием молока из коллектора в молокопровод без впуска воздуха;
4. Разработать методику экспериментальных исследований и оптимизации параметров экспериментального доильного аппарата на основе теории подобия и анализа размерностей в сочетании с методами планирования эксперимента;
5. Провести лабораторные и производственные испытания доильного аппарата с экспериментальным коллектором со встроенным диафрагменным насосом;
6. Дать технико-экономическую оценку результатов исследований.

Объект исследования. Процесс машинного доения коров с экспериментальным доильным аппаратом с независимым вакуумом.

Предмет исследования. Процесс выведения и транспортирования молока из вымени коров в молокопровод.

Методы исследования. Решение поставленных задач проведено с использованием системного и математического анализа, математической статистики, дифференциального и интегрального исчисления, математического моделирования, программирования с применением средств микропроцессорной и компьютерной техники.

Научная новизна заключается в разработке математической модели, позволяющей определить параметры доильного аппарата, обеспечивающего стабильный вакуумный режим и снижение вакуумной нагрузки на соски при доении коров с разной скоростью молокоотдачи; исключить ударное воздействие сосковой резины на сфинктер соска и обратные токи молока из коллектора к соскам вымени, обеспечить осторожное транспортирование молока из коллектора в молокопровод без впуска воздуха;

- в получении аналитических выражений, устанавливающих зависимости параметров и режимов работы коллектора доильного аппарата со встроенным диафрагменным насосом, приводимым от пульсатора, на динамику молокоотдачи при машинном доении коров;

- в предложенной методике оптимизации процессов молоковыведения и транспортирования молока в молокопровод на основе теории подобия и анализа размерностей в сочетании с методами планирования эксперимента.

Новизна предложенных технических решений подтверждена тремя патентами РФ на полезную модель.

Реализация результатов исследования.

Новый доильный аппарат с независимым вакуумом используется в учебном процессе на кафедре «МЭЖ» ФГБОУ ВПО Тверская ГСХА при подготовке студентов инженерного и биотехнологического факультетов, предложен для освоения организациям, занимающимся созданием доильной техники нового поколения. Изготовленный опытный образец доильного аппарата с независимым вакуумом применяется в доильной установке АДМ-200, разработанной на кафедре автоматизации и механизации животноводства РГАУ-МСХА им. Тимирязева, в ФГУП «Учхоз Сахарово» при доении в молокопровод. Результаты теоретических и лабораторно-производственных исследований могут послужить основой при разработке конструкторской документации и внедрении в производство нового доильного аппарата с независимым вакуумом.

Практическая ценность исследований. Конструкция коллектора доильного экспериментального аппарата с диафрагменным насосом, защищена тремя патентами на полезную модель (Патенты №118839, 109956, 107451);

- результаты экспериментальных исследований, полученные при изучении процесса выведения молока из вымени коров при машинном доении, являются основой при разработке новых и совершенствовании существующих конструкций доильных аппаратов, обеспечивающих повышение эффективности доения коров и снижение затрат ручного труда.

Основные положения, выносимые на защиту:

- аналитические зависимости режимов доения и транспортирования молока в молокопровод без впуска воздуха в коллектор, оснащенный диафрагменным насосом, обеспечивающим стабилизацию подсоскового

вакуумного режима при доении во всем диапазоне скоростей молокоотдачи от 0,5 до 6 л/мин;

- уравнения регрессии пропускной способности, оптимальных параметров и режимов работы экспериментального доильного аппарата с независимым подсосковым вакуумом;

- результаты теоретических, экспериментальных и технико-экономических исследований доильного аппарата с независимым подсосковым вакуумом.

Апробация работы. Основные положения исследований доложены на международных научно-практических конференциях: «Развитие науки и образования в современном мире» 31 марта 2015 г. г. Москва в секции технические науки. Тема доклада «Определение оптимальных условий применения доильного аппарата с независимым вакуумом на основе математической модели и его технологического цикла»; на XXXXVI-й международной научно-практической конференции «Наука и современность -2015» 10 апреля 2015 г. Новосибирск в секции технические науки. Тема доклада «Линейная математическая модель технологического цикла доильного аппарата с независимым вакуумом».

Результаты исследований по теме работы так же были представлены на международной специализированной выставке животноводства и племенного дела Agro Farm 5-7 февраля 2013 года г. Москва (получен диплом); на XV-й Российская агропромышленная выставка «Золотая осень» 9-12 октября 2013 года г. Москва, награжден дипломом и серебряной медалью доильный аппарат с независимым вакуумом. На 10-ой специализированной выставке «Изобретатель и рационализатор - 2013» 23-24 октября 2013 года г. Тверь (награжден дипломом). На международной специализированной выставке животноводства и племенного дела Agro Farm 4-7 февраля 2014 года г. Москва (награжден диплом и кубком «Лучшая научная разработка Agro Farm 2014»). На XVI-й Российской агропромышленной выставке «Золотая осень» 8-11 октября 2014 года г. Москва, награжден дипломом и бронзовой медалью доильный аппарат с независимым вакуумом.

Публикации результатов исследования. Материалы диссертации изложены в 7 печатных работах, в рецензируемых журналах, в том числе в четырех, рекомендованных ВАК, в 3 патентах на полезную модель №107451, №109956, №118839.

Структура и объем работы. Диссертационная работа состоит из введения, шести разделов, заключения, списка литературы из 233 наименований, 22 приложений. Основное содержание работы изложено на 159 страницах машинописного текста, включая 41 рисунок, 14 таблиц.

Автор считает своим долгом выразить благодарность и признательность за методическую помощь и консультации при подготовке диссертации к.т.н. доценту Тверской ГСХА Щукину Сергею Ивановичу

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении раскрыта актуальность темы, указана научная новизна, теоретическая и практическая значимость выполняемой работы, сформулированы основные положения, выносимые на защиту.

В первом разделе «Состояние вопроса машинного доения коров и обзор научной литературы» приведены основные аспекты совершенствования доильных аппаратов, состояние и тенденции развития технологических и конструктивных особенностей доильных аппаратов, анализ теоретических исследований оптимизации параметров и режимов работы доильных аппаратов, сформулированы цель и задачи исследования.

Различным аспектом совершенствования конструкций доильных аппаратов посвящены многие работы отечественных и зарубежных авторов: В.Ф. Королева, Л.П. Карташова, В.Ф. Ужика, Ю.А. Цоя, А.И. Зеленцова, В.В. Кирсанова и других.

На международных конференциях по механизации и автоматизации животноводства, симпозиумах по машинному доению сельскохозяйственных животных постоянно отмечается необходимость создания новых типов доильных аппаратов, обеспечивающих щадящий режим доения с регулируемыми параметрами и режимами работы в зависимости от скорости молокоотдачи и других индивидуальных признаков.

Анализ технологических и конструктивных особенностей современных доильных аппаратов отечественных и зарубежных производителей позволил установить классификационные признаки доильных систем. К общим недостаткам существующих типов доильных аппаратов также относится их недостаточная стимулирующая способность и неравномерное выдаивание передних и задних долей вымени.

Исходя из анализа известных конструкций и научных работ ведущих российских и зарубежных ученых, посвященных совершенствованию параметров и режимов работы доильных аппаратов, нами было выбрано направление исследования и создания экспериментального доильного аппарата, обеспечивающего стабильный вакуумный режим при доении на всем диапазоне скоростей молокоотдачи у животного от 0,5 до 6 л/мин и осторожное транспортирование молока в молокопровод без впуска воздуха в коллектор.

Во втором разделе «Теоретическое исследование доильного аппарата с независимым вакуумом»

На основании обобщения мирового опыта и перспектив практической модернизации современных конструкций доильных аппаратов предложен новый доильный аппарат с независимым вакуумом, совмещающий коллектор с пневматическим насосом диафрагменного действия.

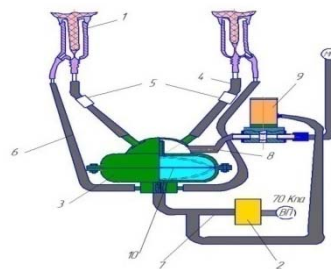


Рисунок - 1 Доильный аппарат с независимым вакуумом. 1 - доильные стаканы; 2 - пульсатор; 3 - коллектор; 4 – Молочный шланг; 5 - обратный клапан; 6 - вакуумный шланг; 7 – магистральный вакуумный шланг; 8 - молочный шланг для отвода молока в молокопровод; 9 - обратный клапан; 10 - мембрана коллектора

Произведен анализ процессов молоковыведения и транспортирования молока и воздуха в доильном аппарате с встроенным диафрагменным насосом. Получены аналитические зависимости, определяющие параметры работы доильного аппарата и обеспечивающие независимый вакуумный режим в подсосковых камерах от скорости молокоотдачи и высоты подъема молока.

Рисунок - 2 Нижнее положение мембраны коллектора при такте сосания. 1 - молокосорная камера коллектора; 2 – камера переменного вакуума; 3 - патрубок переменного вакуума (к пульсатору); 4* - отводной молочный патрубок;

5* - подводящий патрубок коллектора от доильного стакана

* - всасывающие и нагнетательные клапаны на патрубках условно не

показаны.

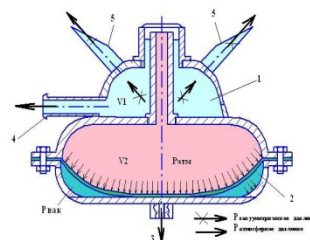
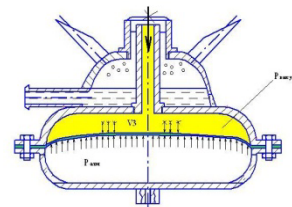


Рисунок - 3 Верхнее положение мембраны коллектора при такте сжатия.

При движении мембраны сверху вниз за счет разряжения подводимого к патрубку переменного вакуума 3 от пульсатора доильного аппарата, давление в молочной камере 1 коллектора будет понижаться до некоторого значения P_k , которое будет зависеть от объема воздуха, находящегося в надмембранном пространстве (объем подсосковых камер, доильных стаканов, объем молокосорной камеры коллектора, а так же хода и диаметра мембраны). Полагая с небольшим допущением процесс расширения воздуха изотермическим можно записать состояние газа в коллекторе



$$P_{\kappa 1} V_{\kappa 1} = P_{\kappa 2} V_{\kappa 2} \quad (1)$$

где $P_{\kappa 1} V_{\kappa 1}$, $P_{\kappa 2} V_{\kappa 2}$ - соответственно давление газа и объем воздуха в начале процесса и конце процесса (после расширения)

Поскольку в начале процесса в доильном аппарате действует атмосферное давление, то $P_{\kappa 1} = P_a$, а в конце процесса должно быть вакуумметрическое давление доения равное $P_g \approx 33-36$ кПа, таким образом выражение записывается так:

$$P_a V_{\kappa 1} = P_{\text{ост.к.}} V_{\kappa 2} \quad (2)$$

Учитывая, что вакуумметрическое давление доения составляет $(0,35-0,4)P_a$ тогда давление в коллекторе будет представлять:

$$P_{\text{ост.к.}} = P_a - 0,4P_a \approx 0,6P_a \quad (3)$$

С учетом последнего записываем:

$$P_a V_{\kappa 1} = 0,6 P_a V_{\kappa 2} \quad (4)$$

откуда $V_{\kappa 2} = P_a V_{\kappa 1} / 0,6 P_a = V_{\kappa 1} / 0,6 \quad (5)$

или $V_{\kappa 2} / V_{\kappa 1} = 1 / 0,6 \approx 1,66 \quad (6)$

Последнее выражение представляет собой коэффициент трансформации объема воздуха в коллекторе при изотермическом расширении, то есть за счет насосного действия мембраны коэффициент расширения составляет 1,66. Полагая с небольшим допущением объем подключенных емкостей к коллектору постоянным запишем:

$$V_{\kappa 1} = \Sigma V_{\text{дс}} + V_{\text{м.к.}} \quad (7)$$

где $V_{\text{дс}}$ - суммарный объем подсосковых камер 4-х доильных стаканов, м³.

$$V_{\kappa 1} = 4V_{\text{дс}} + V_{\text{м.к.}} \quad (8)$$

Учитывая, что объем расширенного воздуха в коллекторе в конце такта сосания $V_{\kappa 2} = V_{\kappa 1} + V_{\text{м}}$ (9)

где: $V_{\text{м}}$ - объем воздуха в надмембранной полости (мембрана в нижнем положении).

Так, как $V_{\text{м}} = (\pi d_{\text{м.э}}^2 / 4) h_{\text{м}}$ (10)

где: $d_{\text{м.э}}$ - эквивалентный диаметр мембраны

$h_{\text{м}}$ - ход мембраны.

Учитывая данное выражение запишем.

$$V_{к2} = 4V_{ДС} + V_{МК} + (\pi d^2_{М.Э}/4)h_M \quad (11)$$

после некоторых упражнений получим

$$[(\pi d^2_{М.Э}/4)h_M]/4V_{ДС} + V_{МК} = 0,66 = E \quad (12)$$

где: $E - 0,66$ (коэффициент расширения (сжатия) воздуха в коллекторе вследствие насосного действия мембраны, коэффициент «E» показывает соотношение объема воздуха, в надмембранной полости вследствие его расширения к объему подключенных емкостей доильных стаканов и молокосорной камеры.

С учетом поступаемого при доении молока и потенциального пенообразования «полезный» объем молокосорной камеры коллектора уменьшается на величину порции поступившего молока, которое составит:

$$V_{мол} = \int_0^{t_c} J_m dt = J_{м.ср} t_c K_n \quad (13)$$

где: $J_{м.ср}$ - средняя скорость молокоотдачи, м³/с

t_c - продолжительность такта сосания

K_n - коэффициент пенообразования ($K_n = 1,2-1,3$)

С учетом последнего выражение для «E» переписывается следующим образом:

$$E = (\pi d^2_{М.Э} h_M / 4) / (4V_{ДС} + V_{МК} - J_{м.ср} t_c K_n) \quad (14)$$

Откуда можно выразить объем молочной камеры коллектора:

$$V_{М.К} = (\pi d^2_{М.Э} h_M / 4) / E + J_{м.ср} t_c K_n - 4V_{ДС} \quad (15)$$

Учитывая выражение для $J_{м.ср}$ получим:

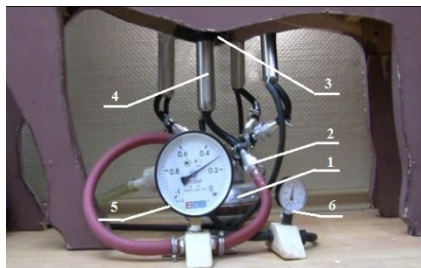
$$V_{М.К} = (\pi d^2_{М.Э} h_M / 4) / E + [60p(T_t - t^2/T^3)] t_c K_n - 4V_{ДС} \quad (16)$$

Также же был произведен анализ движения молоко - воздушной смеси в доильном аппарате, и анализ сил действующих на мембрану насоса.

В третьем разделе «Результаты лабораторных исследований экспериментального доильного аппарата с независимым подсосковым вакуумом».

Задача лабораторных исследований заключалась в проверке работоспособности экспериментального доильного аппарата с новым коллектором, со встроенным диафрагменным насосом, работающим совместно с пульсатором. Был разработан стенд (искусственное вымя) для проверки работоспособности исследований.

Рисунок - 4 Общий вид доильной установки экспериментального доильного аппарата. 1-Коллектор; 2-обратные клапаны (4 шт.);3-искусственное вымя;4-доильный стакан; 5- вакуумметр подсосковой камеры;6- вакуумметр межстенной камеры.



В экспериментальном доильном аппарате использован коллектор с дополнительными промежуточными клапанами в количестве 4 шт. между каждым доильным стаканом, что обеспечивает надежную работу коллектора и уменьшает ударную нагрузку на сосок вымени животного. Вакуумметры установленные в экспериментальной лабораторной установке позволили измерить и отрегулировать величину вакуума в необходимых пределах в межстенной и подсосковой камере доильных стаканов.

В результате лабораторных исследований была установлена зависимость пропускной способности от вакуумметрического давления и частоты пульсаций, определены оптимальные режимы. Полученные осциллограммы позволили выявить наилучшие режимы работы экспериментального доильного аппарата с независимым вакуумом.

В четвертой разделе «Оптимизация параметров экспериментального доильного аппарата на основе регрессионного анализа».

На основе полученных и статистически обработанных данных исследования работы серийного доильного аппарата АДУ-1 и экспериментального доильного аппарата с независимым вакуумом (АДНВ) построены уравнения нелинейной регрессии, связывающие выходной параметр Y - выведенная масса молока за один цикл работы (производительность) с входными управляющими параметрами: X_1 – высота подъема молока, X_2 – давление вакуума в молокопроводе, при неизменных внутреннем диаметре мембраны и объеме молочной камеры коллектора. X_1 варьировалась от 0 до 120 см ($c_0=60$ см), X_2 – от 40 до 54 кПа ($c_0=47$ кПа)

Уравнения регрессии в ортогональном базисе второго порядка для серийного доильного аппарата:

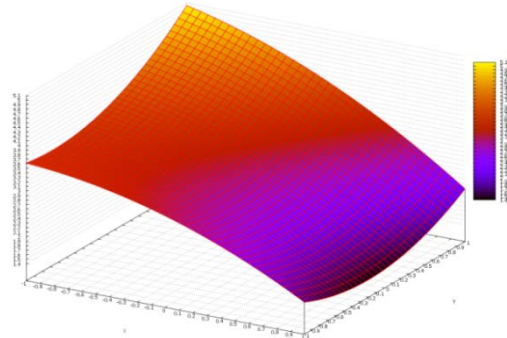
$$Y=3,144 - 0,695X_1 + 0,331X_2 + 0,487X_1X_2 - 0,162X_1^2 + 0,0096X_2^2,$$

для доильного аппарата с независимым вакуумом:

$$Y=2,991 - 1,183X_1 + 0,471X_2 - 0,243X_1X_2 - 0,368X_1^2 + 0,522X_2^2.$$

Проверка значимости коэффициентов регрессии и адекватности нелинейной математической модели проведена с помощью критерия Фишера.

Рисунок - 5 Поверхность отклика Y для экспериментального доильного аппарата с независимым вакуумом. Значения параметров X_1 и X_2 с шагом 0,1 отложены в горизонтальной плоскости. Величина выходного параметра Y отложена по вертикальной оси.



На рисунке 5 представлена поверхность отклика Y для экспериментального доильного аппарата с независимым вакуумом. Значения параметров X_1 и X_2 с шагом 0,1 отложены в горизонтальной плоскости. Величина выходного параметра Y с шагом 0,1 отложена по вертикальной оси.

На основе сравнительного анализа уравнений регрессии установлено, что максимальная производительность доильного аппарата с независимым вакуумом в заданном факторном пространстве в точке условного экстремума лежит на границе исследуемой области ($X_1=-1$, $X_2=+1$) и составляет $Y_{\max}=5,053$. Максимальная производительность $Y_{\max}=5,053$ для АДНВ значительно (примерно на 30%) превосходит аналогичную величину $Y_{\max}=3,873$ для серийного АДУ-1. Таким образом, при оптимальных условиях применения экспериментальный доильный аппарат с независимым вакуумом обладает весомыми преимуществами по сравнению с серийным.

В пятом разделе «Производственные испытания экспериментального доильного аппарата с независимым вакуумом»

Задача производственных испытаний – определить работоспособность и выявить эффективность применения экспериментального доильного аппарата с независимым вакуумом. Для сравнения испытаний в хозяйственных условиях выбран серийный доильный аппарат АДУ-1. Программа исследований предусматривала проведение сравнительных производственных испытаний в Учебно- производственном хозяйстве «Сахарово».

В качестве опытно-производственной установки использовались по 3 стойла в двух рядах, с применением модернизированной доильной установки АДМ-200 с доильным аппаратом в стандартной комплектации.

В качестве сравнения использовалась доильная установка АДМ-200 в которую входили доильные аппараты с независимым вакуумом с доением в молокопровод. По результатам производственных испытаний доильного аппарата с независимым вакуумом и серийного доильного аппарата был произведен сравнительный анализ вакуумной нагрузки на

вымя животного, экспериментальный доильный аппарат показал лучшие результаты в сторону уменьшения $\approx 15\%$.



Рисунок - 6
Машинное доение контрольной группы коров стандартным оборудованием



Рисунок - 7
Общий вид коллектора доильного аппарата с независимым вакуумом

В процессе испытаний в производственных условиях была снята осциллограмма с доильного аппарата с независимым вакуумом, данная осциллограмма идентична с осциллограммой лабораторных испытаний, что подтверждает высокую эффективность доильного аппарата с независимым вакуумом.

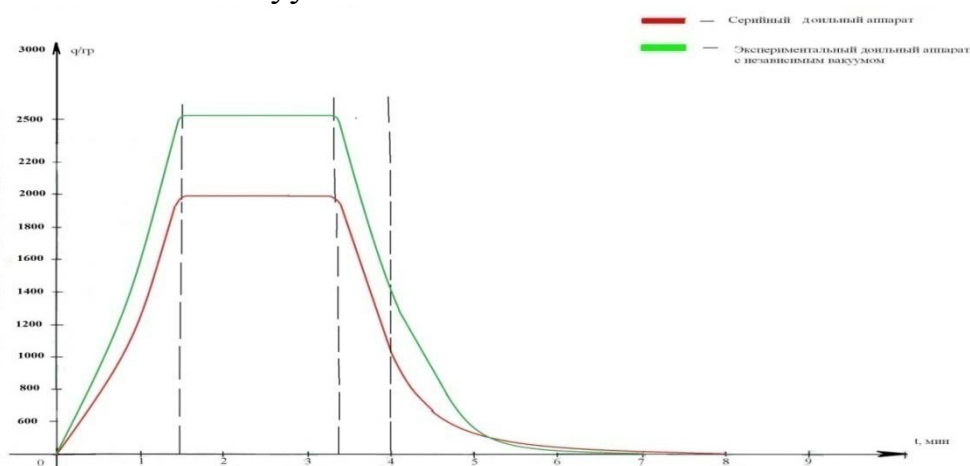


Рисунок - 8 Сравнительный график интенсивности молокоотдачи.

По результатам производственных испытаний был составлен сравнительный график интенсивности молокоотдачи машинного доения серийным доильным аппаратом и экспериментальным с независимым вакуумом. Из графика видно, что полнота выдаивания экспериментальным доильным аппаратом выше, чем серийным на 10%.

В шестом разделе «*Экономическая эффективность результатов исследований*» в соответствии со стандартными методиками произведен технико-экономический расчет, который подтвердил положительные стороны применения нового доильного аппарата с независимым вакуумом. При этом экономический эффект от его применения состоит в снижении себестоимости 1 тонны молока на 1821 рубль. Срок окупаемости вложенных затрат составляет 5 месяцев.

ВЫВОДЫ

1. Для физиологически безопасного и адекватного машинного доения предложен доильный аппарат со встроенным в коллектор диафрагменным насосом, работающим в щадящем режиме за счет двух уровней вакуума: 50 кПа – в вакуумпроводе, он же используется для привода мембранного насоса и 33 кПа – низкий вакуум, используемый для доения и подъема молока в верхний молокопровод. Независимый от высоты подъема молока доильный вакуум под соском коровы и бережное транспортирование молока обеспечиваются диафрагменным насосом без впуска загрязненного атмосферного воздуха в коллектор, что снижает гидромеханическое и бактериальное воздействие на молоко и повышает его качество.

2. Разработаны модели и аналитические уравнения, описывающие процессы молоковыведения, создания вакуума и транспортирования молока в верхний молокопровод за счет насосного действия диафрагменного насоса, обоснованы параметры молокосборной камеры коллектора, диафрагмы и циклограммы тактов впуска и откачки воздуха из вакууммируемых полостей диафрагменного насоса и доильных стаканов.

3. Получены аналитические уравнения для определения величин подачи и напора диафрагменного насоса, учитывающие высоту подъема молока в молокопровод, транспортирующий перепад давлений, коэффициенты гидравлических сопротивлений молочного шланга и местных сопротивлений, суммарный объем откачиваемого воздуха из вакууммируемых полостей доильного аппарата, коэффициент трансформации воздушного объема коллектора для обеспечения независимого подсоскового вакуума для стабильного молоковыведения в процессе доения.

4. В результате проведения лабораторных испытаний определены показатели вакуумного режима в экспериментальном доильном аппарате, которые существенно лучше, чем у серийного АДУ-1, так при вакууме 47 кПа максимальное удельное давление сосковой резины на сосок снизилось с 36,3 в серийном АДУ-1 до 31,6 кПа в экспериментальном аппарате; вакуумная нагрузка на ткани вымени за весь период доения также уменьшилась с 2034 до 1768 Н·с., а максимальное растягивающее усилие на сосок уменьшилось с 28,9 Н до 17,9 Н, что свидетельствует о лучшей физиологической характеристике экспериментального доильного аппарата.

5. В результате применения теории подобия и размерностей совместно с теорией планирования эксперимента получены уравнения регрессии, подтверждающие высокую сходимость теоретических и экспериментальных исследований (95%) и позволяющие определить оптимальные значения основных конструктивных и технологических параметров экспериментального доильного аппарата с независимым вакуумом: величина номинального вакуумметрического давления в вакуумпроводе - $48 \pm$

1 кПа; в подсосковом пространстве - 30-33 кПа, выведенная масса молока за один цикл работы одного исполнительного механизма – 3,0 г/с....7,0 г/с.

6. Результаты производственных испытаний экспериментального доильного аппарата с независимым вакуумом, проведенные на молочно-товарной ферме учхоза «Сахарово» Тверской ГСХА показали, что средняя интенсивность молокоотдачи коров опытной группы в сравнении с контрольной группой увеличилась на 9,1%, жирность молока увеличилась на 0,11 %, при этом вакуумная нагрузка за время доения уменьшилась на 30 %, а общее время доения сократилось на 1...1,5 минуты в сравнении с серийным доильным аппаратом АДУ-1.

7. Внедрение экспериментального доильного аппарата с независимым вакуумом в учхозе «Сахарово» Тверской области обеспечивает увеличение продуктивности коров с 4500 кг/гол до 4950 кг/гол в год за счет повышения полноты выдаивания и жирности молока; снижение себестоимости одной тонны молока с 8063 до 9030 рублей, прибыль 7,27 тыс. рублей на одну голову, повышение рентабельности производства с 8,6% до 11,8% при сроке окупаемости капитальных вложений 0,41 (5 месяцев).

Основные положения диссертации опубликованы в следующих работах

Публикации в изданиях рекомендованные ВАК РФ:

1. Щукин С.И., Петров И.Е. Доильный аппарат с независимым вакуумом / Щукин С.И., Петров И.Е. // Механизация и электрификация сельского хозяйства. - 2012. -№ 2. – С. 9-11.

2. Щукин С.И., Аванесов В.Л., Петров И.Е. Эффективный доильный аппарат / Щукин С.И., Аванесов В.Л., Петров И.Е. // Механизация и электрификация сельского хозяйства. - 2012. -№4 – С. 12-13.

3. Щукин С.И., Легеза В.Н., Петров И.Е. Экспериментальный доильный аппарат с независимым вакуумом / Щукин С.И., Легеза В.Н., Петров И.Е. // Техника в сельском хозяйстве. - 2014. - №6 – С. 19-21.

4. Щукин С.И., Легеза В.Н., Петров И.Е. Результаты испытаний доильного аппарата с независимым вакуумом / Щукин С.И., Легеза В.Н., Петров И.Е. // Механизация и электрификация сельского хозяйства. - 2015. -№1 – С. 13-14.

Патенты

1. Патент 118839 Российская федерация, МК А01J 5/00. Доильный аппарат./ Кирсанов В.В., Щукин С.И., Рыбалко А.И., Легеза В.Н., Петров И.Е., Аванесов В.Л., Серов А.Г., заявитель и патентообладатель ФГБОУ

ВПО «Тверская государственная сельскохозяйственная академия» - № 2012115593/13; Заявлено 18.04.2012; Опубликовано 10.08.2012. Бюллетень № 22.

2. Патент 109956 Российская федерация, МК А01J 5/04. Доильный аппарат./ Кирсанов В.В., Щукин С.И., Рыбалко А.И., Легеза В.Н., Петров И.Е., Аванесов В.Л., Серов А.Г., заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВПО «Тверская государственная сельскохозяйственная академия» - № 201113028/13; Заявлено 05.04.2011; Опубликовано 10.11.2011. Бюллетень № 31.

3. Патент 107451 Российская федерация, МК А01J 5/013. Аппарат для стимуляции рефлекса молокоотдачи, профилактики и лечения мастита у коров./ Кирсанов В.В., Щукин С.И., Рыбалко А.И., Легеза В.Н., Петров И.Е., Аванесов В.Л., Серов А.Г., заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВПО «Тверская государственная сельскохозяйственная академия» - № 2011109590/13; Заявлено 14.03.2011; Опубликовано 20.08.2011. Бюллетень № 23.

Подписано в печать 14.04.2017. Формат 60×84/16.
Усл. печ. л. 1,1. Тираж 100 экз. Заказ № 229.
Отпечатано в ВНИИГиМ имени А.Н. Костякова
127550, Москва, ул. Б. Академическая, д. 44, корп. 2, тел. (915) 414-60-65