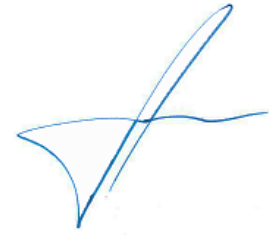


На правах рукописи



НЕКИПЕЛОВ СТАНИСЛАВ ИГОРЕВИЧ

**РАЗРАБОТКА И ОБОСНОВАНИЕ КОНСТРУКТИВНО-РЕЖИМНЫХ
ПАРАМЕТРОВ МОБИЛЬНОГО АГРЕГАТА ДЛЯ ДОЕНИЯ КОРОВ
В ФЕРМЕРСКИХ ХОЗЯЙСТВАХ**

Специальность: 05.20.01 – технологии и средства
механизации сельского хозяйства

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Мичуринск-наукоград РФ, 2020

Работа выполнена на кафедре машин и оборудования в агробизнесе в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Белгородский государственный аграрный университет им. В.Я. Горина»

Научный руководитель: доктор технических наук, профессор **Ужик Владимир Федорович**

Официальные оппоненты: **Ульянов Вячеслав Михайлович**, доктор технических наук, профессор, ФГБОУ ВО «Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева», кафедра технических систем в АПК, заведующий

Андрианов Евгений Александрович, доктор сельскохозяйственных наук, доцент, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I», кафедра технологического оборудования, процессов перерабатывающих производств, механизации сельского хозяйства и безопасности жизнедеятельности, профессор

Ведущая организация: Институт механизации животноводства – филиал федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ»

Защита диссертации состоится 24 апреля 2020 г. в 14-00 часов на заседании объединенного диссертационного совета Д 999.179.03, созданного на базе ФГБОУ ВО «Мичуринский государственный аграрный университет», ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве» по адресу: 393760, Тамбовская область, г. Мичуринск, ул. Интернациональная, д. 101, корпус 1, зал заседаний диссертационных советов, тел/факс (47545)944-12, E-mail: dissov@mgau.ru.

С диссертацией и авторефератом можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВО Мичуринский ГАУ и на сайте www.mgau.ru, с авторефератом – на сайте Высшей аттестационной комиссии Министерства науки и высшего образования Российской Федерации www.vak.ed.gov.ru.

Отзывы на автореферат в двух экземплярах, заверенные и скрепленные гербовой печатью, с указанием индекса, почтового адреса, телефона, электронной почты и сайта организации, фамилии, имени, отчества лица, подготовившего отзыв, просим направить ученому секретарю диссертационного совета.

Автореферат разослан « ____ » _____ 2020 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета,
кандидат технических наук, доцент



Н.В. Михеев

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. Становление и развитие молочного скотоводства – непростая задача. Она связана с развитием материальной базы для выращивания и содержания дойного поголовья коров. При этом одно из главных составляющих в процессе производства молока – машинное доение коров. Этому вопросу следует уделить особое внимание, так как эта технологическая операция способна перечеркнуть все другие достижения в этом направлении вследствие того, что здесь происходит взаимодействие технических средств, – доильного оборудования, и биологического объекта – коровы. От его эффективности зависит надой молока от коровы, степень выдоенности вымени, состояние здоровья животного, последующая молочная продуктивность и многое другое.

Нельзя не обратить внимание еще на одно направление развития молочного скотоводства – мелкотоварное производство. Оно предусматривает доение небольших групп коров. Применение в таком случае стационарных доильных установок весьма ограничено. И зачастую для этого используются мобильные агрегаты для индивидуального доения одной, реже двух коров. Рассчитаны они на обслуживание стада до 10 голов. Как правило, в таких агрегатах применяются однорежимные доильные аппараты.

Поэтому весьма важным для данного типа доильного оборудования является разработка элементов его конструкции, позволяющих уменьшить затраты ручного труда на обслуживание коровы в процессе доения, в частности на своевременное и безопасное снятие доильного аппарата с вымени.

На решение данной задачи и направлена диссертационная работа.

Степень разработанности. Созданием доильных машин, способных обеспечить повышение производительности труда оператора машинного доения, безопасный для вымени коровы режим извлечения молока, наряду с полным его опорожнением, занимались Андрианов Е.А., Винников И.К., Карташов Л.П., Краснов И.Н., В.В. Кирсанов, Огородников П.И., Соловьев С.А., Ужик В.Ф., Ульянов В.М., Цой Ю.А., и др. Однако, как свидетельствует анализ направлений и результатов исследований вышеперечисленных и др. авторов, не в полной мере изучена возможность применения такого режима доения в оборудовании для доения малочисленных групп коров в условиях фермерских хозяйств. В частности, недостаточно исследована возможность применения последних достижений в области управляемого режима доения в мобильных агрегатах для доения животных и своевременного снятия доильного аппарата с вымени. В этой связи требуются дополнительные исследования по изучению и разработке более совершенной конструкции мобильного агрегата для доения коров.

Цель исследований. Снижение затрат труда оператора машинного доения на основе разработки и обоснования параметров шасси доильной установки и пневмоцилиндра снятия доильного аппарата мобильного агрегата для доения коров.

Задачи исследований. Достижение цели исследований требует решения следующих задач:

- выявить перспективные направления в создании мобильных агрегатов для доения коров в фермерских хозяйствах;

- выполнить математическое моделирование движения доильного аппарата в процессе снятия с вымени, функционирования шасси доильной установки и пневмоцилиндра снятия доильного аппарата мобильного агрегата;
- обосновать конструктивные параметры шасси доильной установки и конструктивно-режимные параметры пневмоцилиндра для своевременного и безопасного снятия доильного аппарата с вымени коровы;
- изучить влияние разработанного мобильного агрегата для доения коров на снижение затрат труда, оценить его эффективность.

Объект исследований – рабочий процесс мобильного агрегата для доения коров.

Предмет исследований – закономерности изменения положения опор шасси доильной установки и параметров пневмоцилиндра снятия доильного аппарата мобильного агрегата для доения коров.

Научная новизна диссертационной работы:

- конструктивно-технологическая схема мобильного агрегата для доения коров с устройством для своевременного и безопасного снятия доильного аппарата с вымени коровы;
- математические модели движения доильного аппарата в процессе снятия с вымени, функционирования шасси доильной установки и пневмоцилиндра снятия доильного аппарата с вымени коровы;
- теоретически и экспериментально обоснованные конструктивно-режимные параметры шасси доильной установки и пневмоцилиндра снятия доильного аппарата с вымени коровы.

Теоретическая и практическая значимость. Разработан мобильный агрегат для доения коров, обладающий возможностью контроля интенсивности потока молока на завершающей стадии доения и снятия доильного аппарата с вымени коровы по завершению доения, что позволяет снизить затраты труда оператора. Оригинальность технического решения подтверждена патентами на изобретение РФ № 2654245, № 2707518 «Доильный агрегат». Установлены теоретические зависимости для расчета положения опор шасси доильной установки и конструктивно-режимных параметров пневмоцилиндра снятия доильного аппарата с вымени коровы мобильного доильного агрегата. Их верность доказана лабораторными исследованиями и хозяйственными испытаниями.

Результаты диссертационных изысканий имеют практическую значимость для сельскохозяйственного производства, учебных заведений, проектных и научных организаций.

Методология и методы исследований. При проведении математического моделирования движения доильного аппарата в процессе снятия с вымени, рабочего процесса шасси и пневмоцилиндра снятия доильного аппарата мобильного агрегата для доения коров использованы известные законы физики, теоретической механики, гидравлики и математики. Математическое моделирование проводили с целью получения математических зависимостей, которые позволяют установить основные конструктивные параметры шасси и конструктивно-режимные параметры пневмоцилиндра снятия доильного аппарата. При проведении экспериментальных исследований применяли общеизвестные и частные методики. Экспери-

ментальные исследования и хозяйственные испытания осуществляли с использованием как известных современных приборов, так и специально разработанных, в том числе тензометрических стендов (пат. РФ № 2683478). Анализ материалов исследований осуществляли с использованием программного обеспечения известными методами статистической обработки данных.

Положения, выносимые на защиту:

- конструктивно-технологическая схема мобильного агрегата для доения коров в условиях фермерских хозяйств;
- математические модели движения доильного аппарата в процессе снятия с вымени, рабочего процесса шасси и пневмоцилиндра снятия доильного аппарата мобильного агрегата для доения коров;
- результаты лабораторных исследований по обоснованию и оптимизации конструктивных параметров шасси и конструктивно-режимных параметров пневмоцилиндра снятия доильного аппарата мобильного агрегата для доения коров;
- результаты хозяйственных испытаний разработанного мобильного агрегата для доения коров;

Степень достоверности результатов работы. Достоверность научных положений подтверждается удовлетворительной сходимостью теоретических и экспериментальных исследований, сравнительными испытаниями разработанного мобильного агрегата для доения коров, применением современных методик и средств обработки результатов экспериментов.

Апробация работы. Основные положения работы доложены, обсуждены на международных, всероссийских и региональных научно-практических конференциях: Адаптивный манипулятор для доения коров / Ужик В.Ф., Некипелов С.И. Материалы XXI Всероссийской конференции с международным участием «Проблемы и решения современной аграрной экономики», 23-24 мая 2017 г., п. Майский. Переносной манипулятор для доения коров / Ужик В.Ф., Некипелов С.И. 20-я Всероссийская конференция с международным участием «Инновационная техника и ресурсосберегающие технологии в животноводстве», 18-19 апреля 2017 г., г. Москва. Переносной манипулятор с почетвертным управляемым режимом доения коров / Ужик В.Ф., Кузьмина О.С., Китаёва О.В., Некипелов С.И. 22-я Всероссийская конференция с международным участием «Научное обеспечение производства органической продукции животноводства», 24-25 апреля 2019 г., г. Москва. Передвижной доильный агрегат для коров / Ужик В.Ф., Некипелов С.И. Материалы XXII Всероссийской конференции с международным участием «Органическое сельское хозяйство: проблемы и перспективы», 28-29 мая 2018 г., п. Майский. Мобильный агрегат для доения коров / Ужик В.Ф., Некипелов С.И. 21-я Всероссийская конференция с международным участием «Научно-методические и организационные аспекты модернизации объектов животноводства», 18-19 апреля 2018 г., г. Москва. Передвижной доильный агрегат для коров с пневмоцилиндром снятия доильного аппарата / Ужик В.Ф., Некипелов С.И., Китаева О.В. Материалы XXIII Всероссийской конференции с международным участием «Инновационные решения в аграрной науке – взгляд в будущее», 28-29 мая 2019 г., п. Майский.

Мобильный агрегат для доения коров на Российской агропромышленной выставке «Золотая Осень» в 2018 году награжден серебряной медалью.

Публикации.

По материалам диссертации опубликовано 15 работ, в т. ч. в изданиях, рекомендованных ВАК РФ – 4 работы, получено 4 патента РФ. Общий объем публикаций составил 9,94 усл. печ. л., в том числе 5,14 усл. печ. л. принадлежит лично соискателю.

Объем диссертации.

Диссертация состоит из введения, пяти глав, общих выводов, библиографического списка и приложений. Работа изложена на 221 стр. машинописного текста, в том числе содержит 10 таблиц, 54 рисунка и 15 приложений. Список литературы включает 181 наименование.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы, изложены состояние вопроса, цель, задачи и приведены основные положения, выносимые на защиту.

В первой главе «Анализ результатов исследований по изучению завершающей стадии доения коров и технических средств для ее механизации» отмечается, что неслучайно, еще с начала XIX века начали заниматься созданием технических средств, способных заменить руку человека в процессе доения. В главе приведены результаты исследований воздействия теленка на сосок коровы, а также результаты испытаний различных вариантов технических решений конструкций пульсаторов, коллекторов, доильных стаканов, сосковой резины и элементов автоматики, в совокупности предназначенных для реализации управляемого режима доения. Из анализа информации вытекает, что в небольших фермерских хозяйствах и частных подворьях, в которых для доения коров используются передвижные доильные установки, для уменьшения затрат ручного труда оператора машинного доения коров возможно управление завершающей операцией – автоматическое снятие доильного аппарата с вымени коровы по завершению доения. Она может быть обеспечена путем разработки и обоснования параметров шасси доильной установки и пневмоцилиндра своевременного снятия доильного аппарата мобильного агрегата.

Во второй главе «Теоретические исследования рабочего процесса мобильного агрегата для доения коров» отмечается, что автором отработывались методы защиты вымени коровы от вредного воздействия высокого вакуума при доении в бидон, а также при сборе молока в молокопровод. Используя этот опыт, сформирован алгоритм работы мобильного агрегата для доения коров, который послужил основой для разработки его конструктивно-технологической схемы (Рисунок 1).

При составлении математической модели рабочего процесса пневмоцилиндра снятия доильного аппарата с вымени коровы учитывали то, что, во первых – мобильный агрегат устанавливают как можно ближе к вымени коровы, и во вторых – при снятии доильного аппарата с вымени он не должен соприкасаться с полом стойла животного.

В таком случае, для фиксации доильного аппарата в крайнем верхнем положении ход поршня должен быть не менее половины длины максимально выдвинутого из пневмоцилиндра троса от доильного аппарата до хвостовика на поворотном рычаге, связывающего доильный аппарат с поршнем пневмоцилиндра (Рисунок 2).

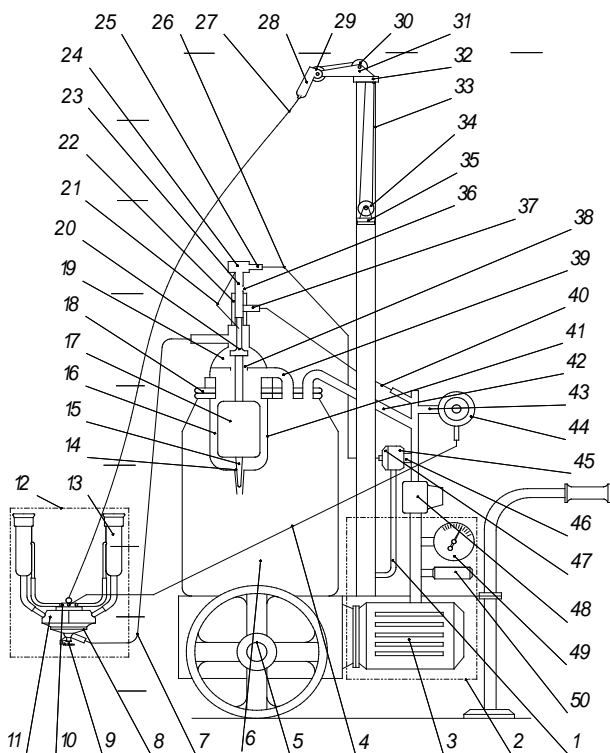


Рисунок 1. Мобильный агрегат для доения коров:

1, 40, 42, 43, 46 – патрубком; 2 – вакуумная аппаратура; 3 – вакуумный насос; 4, 7 – шланг; 5 – шасси; 6 – доильное ведро; 8 – коллектор; 9, 20 – клапан; 10, 11, 16, 19, 47 – камера; 12 – доильный аппарат; 13 – стакан; 14, 38 – отверстие; 15 – игла; 16 – поплавковая камера; 17 – поплавок; 18 – крышка; 21 – скоба; 22 – гильза; 23 – плунжер; 24 – головка; 25 – итуцер; 26 – шланг; 27 – трос; 28 – хвостовик; 29, 30, 34 – ролик; 31 – рычаг; 32 – подшипник; 33 – пневмоцилиндр; 35 – поршень; 36 – отверстие; 37 – итуцер; 39 – патрубок; 41 – датчик; 44 – пульсатор; 45 – пневмоусилитель; 48 – вентиль; 49 – вакуумметр; 50 – вакуумрегулятор

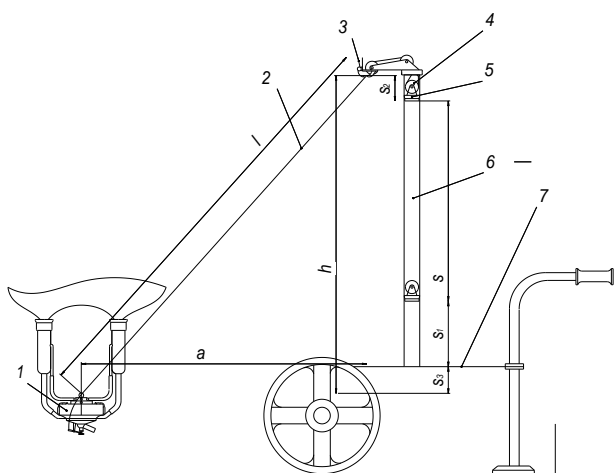


Рисунок 2. К расчету хода поршня пневмоцилиндра снятия доильного аппарата с вымени коровы

1 – доильный аппарат; 2 – трос; 3 – хвостовик; 4 – обводной ролик; 5 – поршень; 6 – пневмоцилиндр; 7 – платформа тележки.

А так как трос должен быть в ненапрянутом положении, то уравнение для расчета хода поршня пневмоцилиндра можно представить в виде:

$$s = \frac{-k^2(s_1 \pm s_2 \pm s_3) \pm \sqrt{k^4(s_1 \pm s_2 \pm s_3)^2 - (k^2 - 4)[k^2(s_1 \pm s_2 \pm s_3) + a^2 k^2]}}{(k^2 - 4)}, \quad (1)$$

где k – коэффициент удлинения троса; s_1 – расстояние от платформы до поршня при крайнем нижнем его положении, м; s_2 – отклонение по высоте хвостовика относительно поршня при крайнем верхнем его положении, м; s_3 – отклонение по высоте положения точки крепления троса к доильному аппарату относительно платформы тележки доильного агрегата, м.

Очевидно, что в процессе снятия доильный аппарат совершает колебательное движение. Исходя из условия предотвращения его контакта с полом стойла коровы, будем рассматривать движение маятника переменной длины:

$$l_t = l - \frac{(l-b)(\alpha - \alpha_t)}{\alpha}, \quad (2)$$

где l – длина троса от точки крепления к доильному аппарату до хвостовика, м; l_t – текущее значение длины троса, м; b – высота над уровнем пола точки подвеса до-

ильного аппарата, m ; α – угол отклонения троса от вертикали в начальный момент снятия доильного аппарата вымени коровы, rad .; α_t – текущее значение угла α , rad .

В таком случае кинетическая энергия доильного аппарата будет состоять из двух составляющих:

$$W_d = W_k + W_c, \quad (3)$$

где W_d – кинетическая энергия доильного аппарата, $Дж$; W_k – кинетическая энергия доильного аппарата, движущегося со скоростью v_k , направленной по касательной к траектории его перемещения радиусом l , $Дж$; W_c – кинетическая энергия доильного аппарата, движущегося со скоростью v_c , направленной вдоль линии троса к оси вращения, $Дж$.

А потенциальная энергия доильного аппарата будет равна:

$$W_p = mg \left(1 - \frac{(1-b)(\alpha - \alpha_t)}{\alpha} \right) (\cos \alpha_t - \cos \alpha), \quad (4)$$

где m – масса доильного аппарата, $кг$; g – ускорение свободного падения, $м/с^2$.

Опуская промежуточные выкладки, запишем уравнение для определения натяжение троса пневмоцилиндра:

$$F_1 = mg \cos \alpha + 2mg(\cos \alpha_t - \cos \alpha) = mg(2 \cos \alpha_t - \cos \alpha). \quad (5)$$

Актуальным является обеспечение устойчивого состояния агрегата, так как формируемое пневмоцилиндром усилие F_1 удержания доильного аппарата от падения на пол вызывает возникновение момента опрокидывания M_{opr} под воздействием на поворотный рычаг пневмоцилиндра развиваемой в тросе силы F_t .

Вертикальная и горизонтальная составляющая силы F_t могут быть представлены выражениями вида:

$$F_{ty} = mg \cos \alpha_t (2 \cos \alpha_t - \cos \alpha), \quad (6)$$

$$F_{tx} = mg \sin \alpha_t (2 \cos \alpha_t - \cos \alpha). \quad (7)$$

Для определения положения центра тяжести мобильного агрегата вполне можно воспользоваться теоремой Вариньона:

$$M_x(F_\Sigma) = Gy_c = \sum_0^n q_k y_k; \quad y_c = \frac{\sum_0^n q_k y_k}{G}; \quad (8)$$

$$M_y(F_\Sigma) = Gx_c = \sum_0^n q_k x_k; \quad x_c = \frac{\sum_0^n q_k x_k}{G}, \quad (9)$$

где M_x – момент равнодействующей относительно оси x , $Нм$; M_y – момент равнодействующей относительно оси y , $Нм$; G – равнодействующая действующих сил исследуемой системы, $Н$; x_c – координата центра тяжести по оси x , $м$; y_c – координата центра тяжести по оси y , $м$; q_k – k -тая сила, $Н$; x_k – координата точки приложения k -той силы по оси x , $м$; y_k – координата точки приложения k -той силы по оси y , $м$.

Как показано на рисунке 3, начало координат расположим в точке O первой опоры агрегата.

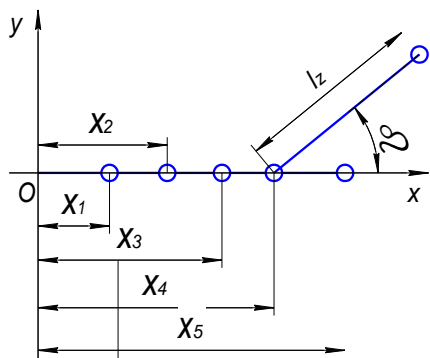


Рисунок 3. К определению положения центра тяжести мобильного агрегата:

x_1 – координата центра тяжести электродвигателя, $м$;
 x_2 – координата центра тяжести вакуумной аппаратуры, $м$; x_3 – координата центра тяжести платформы агрегата, $м$;
 x_4 – координата центра тяжести пневмоцилиндра, $м$;
 x_5 – координата центра тяжести доильного ведра, $м$;
 l_z – длина поворотного рычага, $м$.

Из рисунка 3 следует, что центр тяжести меняет свое положение в зависимости от угла β установки поворотного рычага пневмоцилиндра, через ролики которого проходит трос, соединяемый с установленным на вымени коровы доильным аппаратом:

$$x_c = \frac{F_d x_1 + F_v x_2 + F_a x_3 + F_c x_4 + F_{dv} x_5 + F_z \left(x_4 + \frac{l_z}{2} \cos \beta \right) + F_{ty} (x_4 + l_z \cos \beta)}{F_d + F_v + F_a + F_c + F_{dv} + F_z + F_{ty}} \cos \gamma ; \quad (10)$$

$$y_c = \frac{F_z \frac{l_z}{2} \sin \beta + F_{ty} l_z \sin \beta}{F_d + F_v + F_a + F_c + F_{dv} + F_z + F_{ty}} \cos \delta . \quad (11)$$

где F_d – вес электродвигателя, H ; F_v – вес вакуумной аппаратуры, H ; F_a – вес платформы агрегата, H ; F_c – вес пневмоцилиндра, H ; F_{dv} – вес доильного ведра, H ; F_z – вес поворотного рычага, H .

В процессе снятия доильного аппарата с вымени коровы возникает опрокидывающий момент. Его значение, с учетом возможного наклона агрегата вдоль оси x на угол γ и вдоль оси y на угол δ , может быть описано следующим равенством:

$$M_{\text{опр}} = F_{tx} b \cos \gamma \cos \delta , \quad (12)$$

Опрокидывание агрегата предотвращается моментом устойчивости (удерживающим моментом). Устойчивость технических средств от опрокидывания оценивается коэффициентом $k_{уст}$, поэтому расстояние от центра тяжести агрегата до линии опрокидывания, на которой должны быть размещены опоры агрегата, определится по формуле:

$$d = \frac{k_{уст} F_{tx} (s + s_1 \pm s_2 \pm s_3 + s_4) \cos \gamma \cos \delta}{F_d + F_v + F_a + F_c + F_{dv} + F_z + F_{ty}} . \quad (13)$$

где d – расстояние от центра тяжести агрегата до оси опрокидывания, m .

По мере изменения угла β направления приложения опрокидывающей силы и, как следствие, вращения поворотного рычага, центр тяжести агрегата изменяет свое положение, описывая окружность радиуса r_1 (Рисунок 4):

$$r_1 = \frac{F_z \frac{l_z}{2} + F_{ty} l_z}{F_d + F_v + F_a + F_c + F_{dv} + F_z + F_{ty}} \cos \gamma \cos \delta . \quad (14)$$

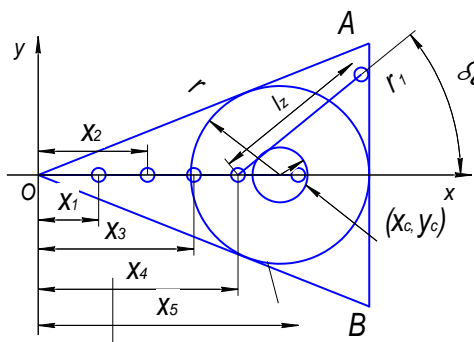


Рисунок 4. Положение опор шасси мобильного агрегата для доения коров

Принимаем самую простую схему опор шасси агрегата доения коров – трехточечную. Так как начало координат расположено в точке O первой опоры шасси агрегата, то две другие опоры шасси A и B могут быть установлены на линии AB , выполненной перпендикулярно оси x и касательно окружности радиуса $r = d + r_1$ с противоположной от начала координат стороны:

$$x_A = x_B = \frac{F_d x_1 + F_v x_2 + F_a x_3 + F_c x_4 + F_{dv} x_5 + F_z \left(x_4 + \frac{l_z}{2} \right) + F_{ty} (x_4 + l_z) + k_{уст} F_{tx} (s + s_1 \pm s_2 \pm s_3 + s_4)}{F_d + F_v + F_a + F_c + F_{dv} + F_z + F_{ty}} , \quad (15)$$

где x_A, x_B – расстояние от первой опоры шасси агрегата до линии AB контакта опор – координаты точек A и B контакта опор шасси по оси x , m .

Точки A и B установки опор расположены в точках пересечения линии AB и касательных OA и OB к окружности радиусом r , исходящих из начала координат O . Для определения их координат y_A, y_B по оси y , будем исходить из следующих соображений. Координату x_o центра окружностей радиусов r и r_1 для условия, что угол $\beta=0$, можно определить, используя уравнение:

$$x_o = x_c - r_1, \quad (16)$$

В таком случае угол наклона касательной OA к оси x :

$$\varepsilon = \arcsin \frac{r}{x_o}, \quad (17)$$

где ε – угол наклона касательной OA к оси x , rad .

Отсюда координаты y_A и y_B точек A и B по оси y будут равны:

$$y_A = x_A \operatorname{tg} \varepsilon, \quad y_B = -x_A \operatorname{tg} \varepsilon. \quad (18)$$

Доильные стаканы на сосках молочной железы удерживаются вакуумметрическим давлением (разрежением) в подсосковых камерах и силой трения сосковой резины о сосок. В таком случае мы можем записать уравнение для расчета максимально допустимого вакуумметрического давления в подсосковых камерах доильных стаканов в момент отсоединения от вымени:

$$P_t \leq \frac{1}{\pi d_c^2} \left(\frac{mg \sin \alpha^2}{\cos(\operatorname{atan}(\cot \alpha))} - 4F_{tr} \right). \quad (19)$$

где F_{day} – сила удержания доильного аппарата на сосках вымени коровы, H ; d_c – внутренний диаметр сосковой резины, m ; P_t – текущее вакуумметрическое давление в подсосковых камерах доильных стаканов, Pa ; F_{tr} – сила трения сосковой резины о сосок вымени, H .

Определить значение коэффициента k_{ycm} запаса устойчивости мобильного агрегата для доения коров можно оценивая степень изменения нагрузки на опоры агрегата под воздействием опрокидывающего момента:

$$F(x_c + d_s) = x_A(F_{OA} + F_{OB}), \quad (20)$$

где F_{OA} и F_{OB} – реакции на опорах шасси A и B (колес) под воздействием веса агрегата с учетом вертикальной составляющей силы F_t, H ; d_s – смещение центра тяжести агрегата при воздействии горизонтальной составляющей силы F_t, H :

$$d_s = \frac{F_{tx}(s+s_1 \pm s_2 \pm s_3 + s_4) \cos \gamma \cos \delta}{F_d + F_v + F_a + F_c + F_{dv} + F_z + F_{ty}}. \quad (21)$$

При этом следует учесть, что при условии направления приложения опрокидывающей силы и, как следствие, положения поворотного рычага, вдоль оси X (угол $\beta=0$), реакции на опорах шасси F_{OA} и F_{OB} равны между собой:

$$F_{OAO} = F_{OBO} = \frac{F(x_c + d_s)}{2x_A}, \quad (22)$$

где F_{OAO} и F_{OBO} – реакции на опорах шасси A и B при условии направления приложения опрокидывающей силы и, как следствие, положения поворотного рычага, вдоль оси X (угол $\beta=0$), H .

Если имеет место отклонение от оси X направления действия опрокидывающей силы, равно как и положения поворотного рычага, на угол β , реакции на опорах шасси F_{OA} и F_{OB} мы можем определить из уравнений:

$$F_{OB} = \frac{F(x_c + d_s \cos \beta)(L_k - 2(y_c + d_s \sin \beta))}{2L_k x_A}, \quad (23)$$

$$F_{OA} = \frac{F(x_c + d_s \cos \beta)(L_k + 2(y_c + d_s \sin \beta))}{2L_k x_A} \quad (24)$$

И теперь, зная реакции на опорах шасси F_{OA} и F_{OB} – мы можем определить реакцию F_{O1} на первой опоре:

$$F_{O1} = F \left(\frac{x_A - x_c - d_s \cos \beta}{x_A} \right). \quad (25)$$

А также мы можем записать:

$$F_{O10} = \frac{F(x_A - x_c - d_s)}{x_A} \quad (26)$$

где F_{O10} – реакция на первой опоре при условии направления приложения опрокидывающей силы и, как следствие, положения поворотного рычага, вдоль оси X (угол $\beta=0$), H .

Исходя из вышеизложенных соображений, можно определить текущее значение коэффициента $k_{уст}$ запаса устойчивости мобильного агрегата для доения коров. Например, для определения коэффициента $k_{уст}$ запаса устойчивости при опрокидывании агрегата относительно линии OA , уравнение имеет вид:

$$k_{уст} = \frac{F_{OBO}}{F_{OBO} - F_{OB}}; \quad (27)$$

относительно линии OB -

$$k_{уст} = \frac{F_{OAO}}{F_{OAO} - F_{OA}}. \quad (28)$$

относительно линии AB -

$$k_{уст} = \frac{F_{O10}}{F_{O10} - F_{O1}}. \quad (29)$$

Для выявления основных конструктивно-режимных параметров пневмоцилиндра доильного агрегата, при которых обеспечивается требуемое усилие воздействия на доильный аппарат в процессе его снятия, рассмотрим схему его работы (Рисунок 5).

Согласно второму закону Ньютона мы можем записать:

$$F_{vak} + F_p - F_n - F_{trp} = F_{th} + F_t + F_{r1} + F_{r2} + F_{r3}. \quad (30)$$

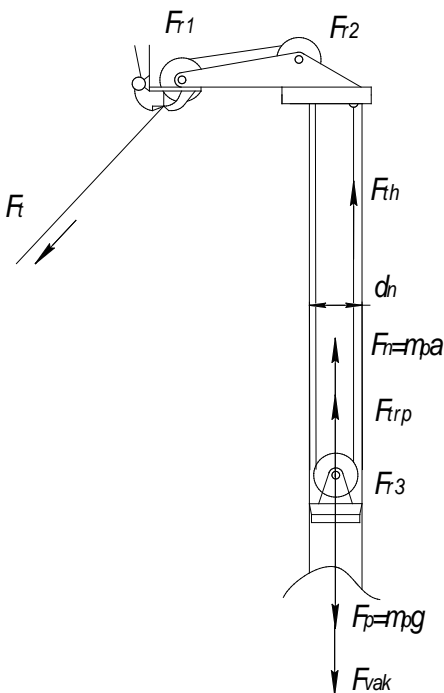


Рисунок 5. К определению основных конструктивно-режимных параметров пневмоцилиндра:

F_{vak} – сила поршня, формируемая по воздействием вакуумметрического давления P_{vak} , H ; F_p – вес поршня, H ; F_n – сила, вызывающая ускоренное движение поршня, H ; F_{th} – сила натяжения холостой ветви троса пневмоцилиндра, H ; F_{r1} – сила трения ролика поворотного звена, H ; F_{r2} – сила трения ролика поворотного звена, H ; F_{r3} – сила трения ролика поршня, H ; F_{trp} – сила трения поршня о внутренние стенки пневмоцилиндра, H .

Так как сила F_t натяжения троса пневмоцилиндра учитывает динамику доильного аппарата в процессе снятия его с вымени животного, то из схемы работы пневмоцилиндра следует, что натяжение холостой ветви пневмоцилиндра равно натяжению ветви, управляющей положением доильного аппарата в процессе снятия с молочной железы:

$$F_{th} = F_t + F_{r1} + F_{r2} + F_{r3}. \quad (31)$$

В таком случае можно записать:

$$F_{vak} + F_p - F_n - F_{trp} = 2(F_t + F_{r1} + F_{r2} + F_{r3}). \quad (32)$$

Следует заметить, что ускорение движения поршня – величина неизвестная. По мере изменения угла α_t в процессе движения доильного аппарата с точки подвеса на вымени в нижнюю точку траектории движения, когда $\alpha_t = 0$, изменение длины l троса осуществляется на величину Δl :

$$\Delta l = \frac{(l-b)(\alpha-\alpha_t)}{\alpha}, \quad (33)$$

Отсюда можем записать:

$$\Delta s_n \geq \frac{(l-b)(\alpha-\alpha_t)}{2\alpha} \quad (34)$$

где Δs_n – смещение поршня при перемещении доильного аппарата с точки с углом отклонения α в точку с углом отклонения α_t , м.

Приняв схему пошагового изменения длины троса подвеса доильного аппарата, можно представить уравнение для расчета времени T движения доильного аппарата с изменяющимся радиусом перемещения с точки подвеса на вымени коровы в нижнюю точку траектории движения в виде:

$$T = \sum_{f=0}^{n-1} \frac{\frac{\pi}{2\sqrt{g}} \sqrt{l - \frac{(l-b)(\alpha - \frac{f\alpha}{n})}{\alpha}}}{n} = \sum_{f=0}^{n-1} \frac{\pi}{2n\sqrt{g}} \sqrt{l - (l-b) \left(\frac{f}{n}\right)}, \quad (35)$$

где n – число шагов изменения длины троса подвеса доильного аппарата; f – порядковый номер шага.

Из описания работы пневмоцилиндра следует, что за время T перемещение поршня должно составить:

$$\Delta s_n = \frac{(l-b)}{2}. \quad (36)$$

В таком случае, используя известное выражение взаимосвязи ускорения и перемещения и опуская промежуточные выкладки, можно определить ускорение a_p , каким должен обладать поршень пневмоцилиндра:

$$a_p = \frac{(l-b)}{\left(\sum_{f=0}^{n-1} \frac{\pi}{2n\sqrt{g}} \sqrt{l - (l-b) \left(\frac{f}{n}\right)}\right)^2}, \quad (37)$$

и далее – диаметр d_n пневмоцилиндра, при котором обеспечивается требуемое воздействие поршня на трос:

$$d_n = \sqrt{\frac{4}{\pi P_c} \left[2(mg(2 - \cos \alpha) + F_{r1} + F_{r2} + F_{r3}) + m_p \frac{(l-b)}{\left(\sum_{f=0}^{n-1} \frac{\pi}{2n\sqrt{g}} \sqrt{l - (l-b) \left(\frac{f}{n}\right)}\right)^2} - m_p g + F_{trp} \right]} \quad (38)$$

Следует заметить, что время создания заданного вакуумметрического давления в полости пневмоцилиндра ограничено, и оно лимитируется временем T движения доильного аппарата в процессе снятия с молочной железы коровы.

Исходя из этого, опуская промежуточные выкладки, запишем уравнение, по которому, задаваясь длиной патрубка l_t , можно определить диаметр патрубка d_t , обеспечивающий заданную скорость откачки воздуха из пневмоцилиндра:

$$d_t = \sqrt[4]{\frac{32\mu l_t \pi d_n^2 \left[s - \frac{1}{2}(lk-b) \right]}{P_a \pi \sum_{f=0}^{n-1} \frac{\pi}{2n\sqrt{g}} \sqrt{l-(l-b)\left(\frac{f}{n}\right)}} \ln \frac{(P_{an} - P_{anom})}{(P_t - P_{anom})}}, \quad (39)$$

где μ – динамическая вязкость воздуха, $Па \cdot с$; P_{an} – вакуумметрическое давление P_n в абсолютной системе измерения $Па$; P_{anom} – номинальное вакуумметрическое давление P_n в абсолютной системе измерения $Па$; P_a – атмосферное давление, $Па$; $P_t \rightarrow P_{anom}$ – текущее вакуумметрическое давление, $Па$.

В третьей главе представлены задачи и методики экспериментальных исследований. Для установления закономерности изменения силы натяжения троса пневмоцилиндра по мере движения доильного аппарата с точки подвеса на вымени в нижнюю точку траектории при $\alpha_t=0$, нами был разработан тензометрический стенд, позволяющий одновременно регистрировать изучаемый параметр, текущий угол α_t положения доильного аппарата на траектории его движения, время движения и перемещение поршня пневмоцилиндра снятия доильного аппарата (пат. РФ № 2683478). Для исследования положения центра тяжести мобильного агрегата для доения коров в зависимости от удаления (a) доильного аппарата в начальный момент его движения, а также изменения угла β поворота поворотного рычага пневмоцилиндра при изменении направления действия опрокидывающего момента, нами разработан стенд с использованием тензометрических силовых элементов, позволяющий осуществлять регистрацию реакций на опорах агрегата, меняющихся под воздействием варьирующей статической нагрузки на опоры агрегата. Исследование устойчивости от опрокидывания мобильного агрегата для доения коров осуществляли регистрируя реакции на опорах агрегата, меняющихся в зависимости от удаления (a) доильного аппарата в начальный момент и по траектории его движения, а также изменения угла β поворота поворотного рычага пневмоцилиндра при изменении направления действия опрокидывающего момента. Для этого нами разработан стенд с использованием тензометрических силовых элементов. Исследования силы, развиваемой на тросе пневмоцилиндром, в зависимости от его диаметра и подаваемого вакуумметрического давления, а также исследования времени достижения заданного вакуумметрического давления в полости пневмоцилиндра выполняли на основе планирования факторного эксперимента.

В четвертой главе приведены результаты экспериментальных исследований мобильного агрегата для доения коров. Полученные данные легли в основу уравнений регрессии, характеризующих характер изменения силы натяжения троса подвеса доильного аппарата по траектории его движения, а также времени его движения с точки подвеса на вымени в нижнюю точку траектории движения при $\alpha_t=0$, в зависимости от начального удаления доильного аппарата от точки подвеса на расстояние (a).

Для условия, что s_1 – расстояние от платформы до поршня, при крайнем нижнем его положении, равно $0,1$ м; s_2 – отклонение по высоте хвостовика относительно поршня, при крайнем верхнем его положении, равно $0,1$ м; s_3 – отклонение по высоте положения точки крепления троса к доильному аппарату относительно платформы тележки доильного агрегата, равно $0,1$ м; k – коэффициент

удлинения троса, равен 1,2, ход поршня пневмоцилиндра составляет 1,04 м, масса доильного аппарата 3 кг, уравнение регрессии, характеризующее взаимозависимость указанных параметров, имеет вид:

$$F_{11} = 27.656 + 14.896a + 8.405 \alpha - 14.49a \alpha - 4.255a^2 - 12.756 \alpha^2, \quad (40)$$

где F_{11} – натяжение троса пневмоцилиндра по траектории движения при массе доильного аппарата 3 кг, Н; a – расстояние от точки крепления троса к доильному аппарату до положения хвостовика на пневмоцилиндре в горизонтальной плоскости, м; α – угол отклонения троса от вертикали в начальный момент снятия доильного аппарата вымени коровы, рад.

В графическом виде уравнение регрессии представлено на рисунке 6.

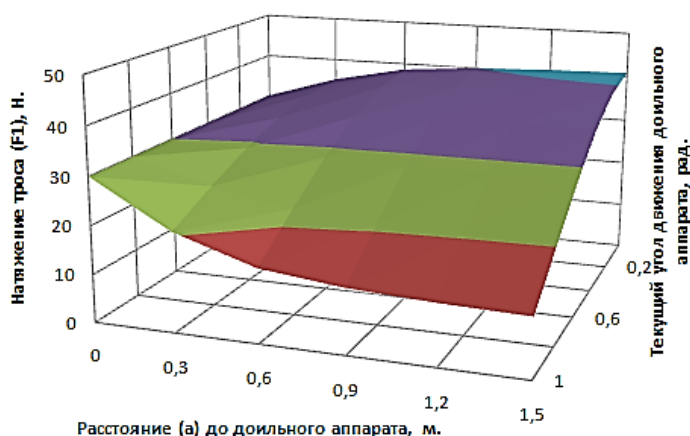


Рисунок 6. Зависимость силы натяжения троса по траектории движения от начального удаления (a) при массе доильного аппарата 3 кг

При увеличении массы доильного аппарата до 3,5 кг эмпирическое уравнение приобретает вид:

$$F_{12} = 32.269 + 17.372a + 9.8 \alpha - 16,906a \alpha - 4.96a^2 - 14.875 \alpha^2, \quad (41)$$

где F_{12} – натяжение троса пневмоцилиндра по траектории движения при массе доильного аппарата 3,5 кг, Н, а при массе 4 кг изменение силы натяжения троса подвеса доильного аппарата изменяется по закону описываемым следующим эмпирическим уравнением:

$$F_{13} = 36.877 + 19.855a + 11.205 \alpha - 19,317a \alpha - 5.67a^2 - 17.006 \alpha^2, \quad (42)$$

где F_{13} – натяжение троса пневмоцилиндра по траектории движения при массе доильного аппарата 4 кг, Н.

Из данных зависимостей следует, что при массе доильного аппарата 3 кг и начальном удалении 1,5 м по мере его движения в процессе снятия с вымени коровы при указанных выше конструктивных параметрах пневмоцилиндра снятия и доильного агрегата в целом, натяжение троса увеличивается с 14,34 до 40,43 Н, а при массе доильного аппарата 4 кг – с 19,13 до 53,9 Н.

Получены данные, которые легли в основу уравнения регрессии, характеризующего время движения доильного аппарата с точки подвеса на вымени в нижнюю точку траектории движения при $\alpha_t=0$ в зависимости от начального удаления доильного аппарата от точки подвеса на расстоянии (a):

$$t_{da} = 0,33981 + 0,03592a + 0,43879a^2 - 0,36202a^3 + 0,09697a^4, \quad (43)$$

где t_{da} – время движения доильного аппарата с точки подвеса на вымени в нижнюю точку траектории, с.

Его графическая версия представлена на рисунке 7.

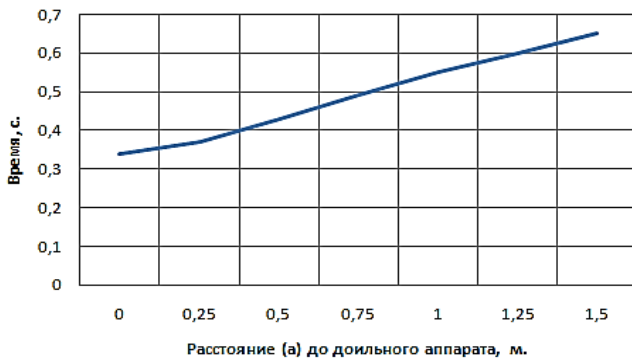


Рисунок 7. Зависимость времени движения доильного аппарата с точки подвеса на вымени коровы в нижнюю точку траектории от его начального удаления (a) от мобильного агрегата

Установлено, что с увеличением удаления доильного аппарата от мобильного агрегата, время его движения в нижнюю точку траектории при снятии с вымени коровы увеличивается. Так, при удалении доильного аппарата от мобильного агрегата на 0,5 м время его движения в нижнюю точку траектории составляет 0,42 с, в то время как при удалении 1,5 м – 0,65 с.

Для определения закономерности изменения положения центра тяжести мобильного агрегата для доения коров в эксперименте изменяли удаление (a) доильного аппарата в начальный момент его движения, а также угол β поворота поворотного рычага пневмоцилиндра при изменении направления действия опрокидывающего момента. Для условия, что F_d – вес электродвигателя равен 54 Н; F_v – вакуумной аппаратуры 38 Н; F_a – платформы агрегата 250 Н; F_c – пневмоцилиндра 30 Н; F_{dv} – доильного ведра 50 Н; F_z – поворотного рычага 10 Н; x_1 – электродвигателя – 0,3 м; x_2 – вакуумной аппаратуры – 0,15 м; x_3 – платформы агрегата – 0,4 м; x_4 – пневмоцилиндра – 0,3 м; x_5 – доильного ведра – 0,4 м; l_z – длина поворотного рычага – 0,1 м, уравнение регрессии, характеризующее положение центра тяжести мобильного агрегата для доения коров по оси X имеет вид:

$$x_c = 0.3575 + 0.0008m - 0.0008\beta - 0.0013m\beta + 0.00003m^2 - 0.00002\beta^2, \quad (44)$$

где m – масса эталонной гири, имитирующей вертикальную составляющую веса доильного аппарата в процессе его движения при снятии с вымени коровы, кг; x_c – координата центра тяжести мобильного агрегата по оси X, м, β – угол поворота поворотного рычага пневмоцилиндра относительно оси X по действием опрокидывающего момента.

В графическом виде данное уравнение представлено на рисунке 8.

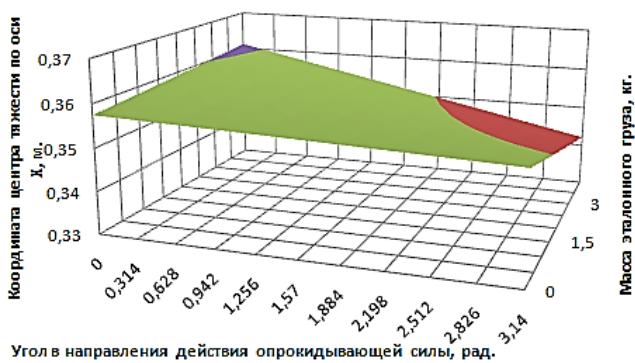


Рисунок 8. Зависимость координаты центра тяжести мобильного агрегата по оси X в зависимости от массы эталонного груза и направления действия опрокидывающего момента

Для тех же условий относительно конструктивных параметров мобильного агрегата, эмпирическое уравнение, характеризующее положение центра тяжести агрегата по оси Y имеет вид:

$$y_c = 0.00076m + 0.0069\beta - 0.00002m^2 - 0.0022\beta^2, \quad (45)$$

где y_c – координата центра тяжести мобильного агрегата по оси Y , м.

В графическом виде данное уравнение представлено на рисунке 9.

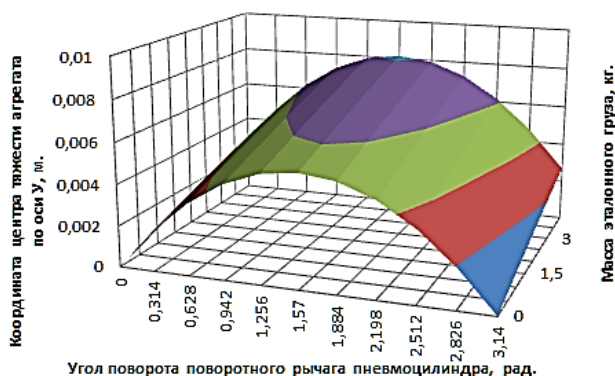


Рисунок 9. Зависимость координаты центра тяжести мобильного агрегата по оси Y в зависимости от массы эталонного груза и направления действия опрокидывающего момента

Как свидетельствуют результаты эксперимента увеличение массы эталонных гирь в интервале от 0 до 4 кг, имитирующих вертикальную составляющую веса доильного аппарата, формируемую в процессе его движения в начальной точке траектории при снятии с вымени коровы при различном его начальном удалении от агрегата, вызывает смещение центра тяжести на величину от 0 до 0,0081 м. Причем, максимальное смещение центра тяжести мобильного агрегата по оси X достигается при угле β поворота поворотного рычага пневмоцилиндра равном нулю, а максимальное смещение центра тяжести мобильного агрегата по оси Y достигается при угле β , равном 1,57 рад.

Устойчивость агрегата от опрокидывания оценивали по реакции на опорах шасси, меняющихся в зависимости от удаления (a) доильного аппарата в начальный момент и по траектории его движения, а также угла β отклонения от оси X направления действия опрокидывающего момента на мобильный агрегат, возникающего в процессе снятия доильного аппарата с молочной железы коровы.

При направлении действия опрокидывающего момента, вызывающего догружение опоры А силами, возникающими в процессе снятия и движения доильного аппарата, уравнение регрессии, характеризующее реакцию на опоре шасси А мобильного агрегата для доения коров имеет вид:

$$F_{OA} = 173,533 + 116,956\alpha + 95,885\beta - 14,01\alpha\beta - 65,819\alpha^2 - 34,178\beta^2, \quad (46)$$

где α – текущее значение угла (α) положения доильного аппарата, рад.

В графическом представлении, визуально демонстрирующем характер зависимости реакции на опоре шасси А, уравнение приведено на рисунке 10.

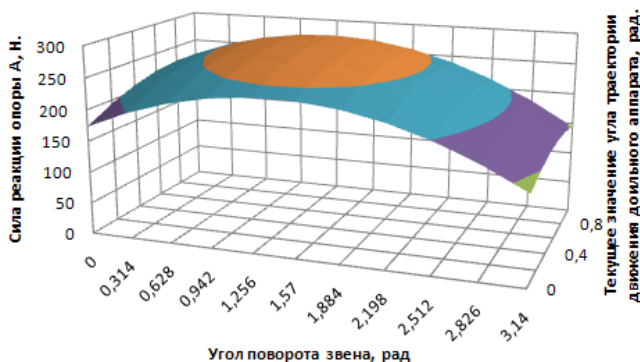


Рисунок 10. Зависимость реакции на опоре шасси А мобильного агрегата от текущего угла (α) положения доильного аппарата на траектории движения и направления действия опрокидывающего момента

В то же время происходит разгрузка опоры B . Уравнение регрессии, характеризующее реакцию на опоре B мобильного агрегата для доения коров, имеет вид:

$$F_{OB} = 213,8467 - 72,8472 \alpha - 115,7673\beta - 14,0444\alpha\beta + 65,7794 \alpha^2 + 34,1614\beta^2. \quad (47)$$

Графическая интерпретация данного уравнения приведена на рисунке 11.

По мере изменения направления действия опрокидывающего момента, а также текущего угла (α_t) положения доильного аппарата на траектории его движения, меняется реакция и на опоре шасси O .

Эмпирическое выражение, характеризующее закономерность изменения искомого параметра, имеет вид:

$$F_O = 83,1335 - 44,1043\alpha + 16,8813\beta + 28,054\alpha\beta + 0,0375\alpha^2 + 0,0172\beta^2. \quad (48)$$

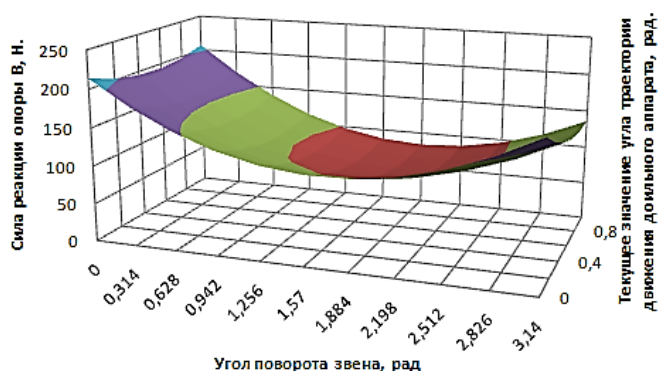


Рисунок 11. Зависимость реакции на опоре шасси B мобильного агрегата от текущего угла (α) положения доильного аппарата на траектории движения и направления действия опрокидывающего момента

На рисунке 12 приведена данная зависимость в графическом виде.



Рисунок 12. Зависимость реакции на опоре шасси O мобильного агрегата от текущего угла (α_t) положения доильного аппарата на траектории движения и направления действия опрокидывающего момента

На основании установленной закономерности варьирования реакции на опорах мобильного агрегата, нами получены уравнения регрессии, характеризующие зависимость коэффициента устойчивости агрегата от реакции на опорах, регламентируемых углом (α) положения доильного аппарата на траектории движения, а также угла β отклонения от оси X направления действия опрокидывающего момента на мобильный агрегат.

При оценке устойчивости агрегата по реакции на опоре B нами получено уравнение регрессии, которое имеет вид:

$$K_{yb} = 16,2049 - 16,845\alpha - 8,6252\beta + 1,118\alpha\beta + 9,96\alpha^2 + 2,0041\beta^2, \quad (49)$$

где K_{yb} – коэффициент устойчивости агрегата, оцениваемый по реакции на опоре B .

На рисунке 13 приведена данная зависимость в графическом виде.

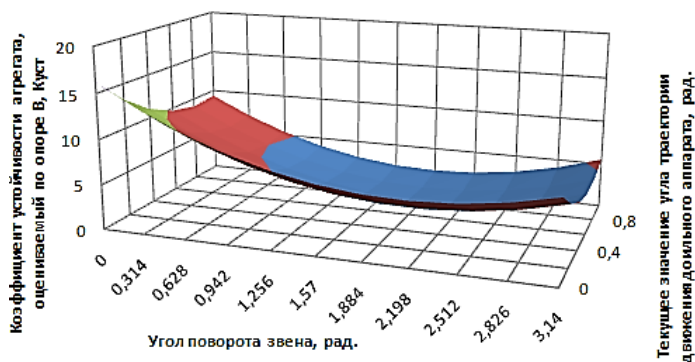
Оценку устойчивости агрегата по реакции на опоре O мы оценивали при условии, что опрокидывающий момент, действующий на агрегат, направлен

вдоль оси X , как наиболее опасном для устойчивости агрегата направлении. В результате нами получено уравнение регрессии, которое имеет вид:

$$K_{y0} = 8,7958 - 36,0311 \alpha + 69,9947 \alpha^2 - 62,9923 \alpha^3 + 21,9679 \alpha^4, \quad (50)$$

где K_{y0} – коэффициент устойчивости агрегата, оцениваемый по реакции на опоре O .

На рисунке 14 приведена данная зависимость в графическом виде.



При оценке коэффициента устойчивости мобильного агрегата по реакции на опоре шасси B установлено, что его минимальное значение составляет 1,651, которым обладает мобильный агрегат при угле β отклонения от оси X направления действия опрокидывающего момента равном 1,884 рад. и угле (α) положения доильного аппарата на траектории движения равном 0,8 рад. При оценке коэффициента устойчивости мобильного агрегата по реакции на опоре шасси O установлено, что его минимальное значение составляет 1,513, которым обладает мобильный агрегат угле (α) положения доильного аппарата на траектории движения равном 0,8 рад.

И в первом и во втором случае коэффициент устойчивости мобильного агрегата превышает значение коэффициента устойчивости агрегата, равное 1,5, который закладывали в исходные данные при расчете и изготовлении экспериментального образца мобильного агрегата для доения коров. Этим самым подтверждается верность теоретических положений, касающихся расчета расстояния от первой опоры до линии опор A и B (опорных колес шасси агрегата), а также расстояния между опорами A и B (между опорными колесами). Из вышесказанного вытекает, что при конструктивных параметрах мобильного агрегата для доения коров, которые приведены выше, расстояние от первой опоры до линии опор A и B должно быть не менее 0,422 м, а расстояние между опорами A и B – не менее 0,262 м.

Полученные в результате сравнительных экспериментальных исследований данные легли в основу формирования эмпирической зависимости, увязывающей силу на тросе с используемым диаметром пневмоцилиндра снятия доильного аппарата с вымени коровы, а также вакуумметрическим давлением, подводимым к пневмоцилиндру:

$$F_t = 41.4085 - 0.00136p_c - 1413.6d_c + 0.0471p_c d_c + 11780.0d_c^2, \quad (51)$$

где d_c – диаметр пневмоцилиндра, м; p_c – вакуумметрическое давление, Па.

Визуализация данной зависимости дает наглядное представление о ее характере (Рисунок 15).

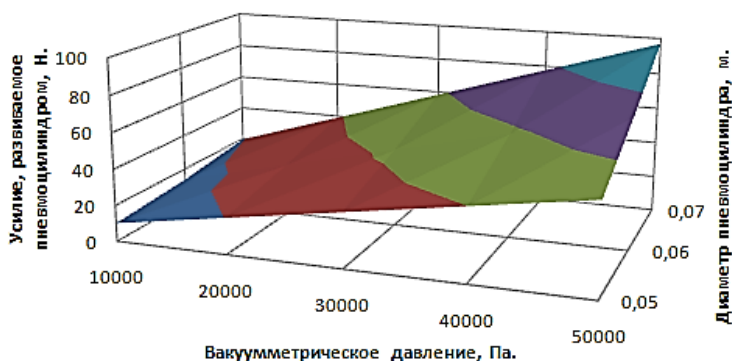


Рисунок 15. Зависимость усилия на тросе от диаметра пневмоцилиндра и вакуумметрического давления, подводимого к пневмоцилиндру

А так как при массе доильного аппарата 4 кг и начальном удалении от мобильного агрегата 1,5 м по мере его движения в процессе снятия с вымени коровы по траектории, исключающей контакт доильного аппарата с полом стойла животного, натяжение троса увеличивается с 19,13 до 53,9 Н, то требуемая сила на тросе может быть достигнута при диаметре пневмоцилиндра 0,06 м и вакуумметрическом давлении не ниже 37500 Па, а при диаметре 0,07 м – вакуумметрическое давление, подводимое к пневмоцилиндру, должно быть не менее 28000 Па.

Из теоретических исследований рабочего процесса пневмоцилиндра мобильного агрегата для доения коров в период снятия доильного аппарата с вымени животного следует, что время достижения заданного вакуумметрического давления в полости пневмоцилиндра зависит от подводимого к пневмоцилиндру вакуумметрического давления, объема вакууммируемой полости пневмоцилиндра, длины и диаметра патрубка, посредством которого пневмоцилиндр подключен к источнику вакуумметрического давления. Полученные результаты факторного эксперимента в полной мере подтвердили наличие связи между факторами и параметром оптимизации, которая достаточно точно описывается эмпирическим уравнением:

$$t = 0,73069 - 161,282d_t - 20,5568l_t - 0,000009P_{anom} - 58,5109V_p + 5890,003d_t l_t + 0,00304d_t P_{anom} - 81,9067d_t V_p + 10994,12V_p l_t + 2989980,0dV_p l_t + 0,005d_t P_{anom} V_p - 0,3257P_{anom} V_p l_t + 65,0dP_{anom} V_p l_t - 0,75d_t^2 + 58,9997l_t^2 + 29700,0V_p^2, \quad (52)$$

где t_v – время достижения заданного вакуумметрического давления в полости пневмоцилиндра, с; d_t – диаметр патрубка, м; l_t – длина патрубка, м; V_p – вакууммируемый объем пневмоцилиндра, м³; P_{anom} – вакуумметрическое давление, Па.

Из данного уравнения следует, что при указанных выше конструктивных параметрах мобильного агрегата для доения коров для обеспечения снятия доильного аппарата с вымени животного, минимальное время движения которого по траектории, исключаяющей его контакт с полом стойла коровы, наблюдается при его удалении 0,5 м и составляет 0,428 с, для достижения в указанный промежуток времени в полости пневмоцилиндра вакууммируемым объемом 0,003 м³ вакуумметрического давления 37500 Па при длине патрубка 0,01 м его диаметр должен быть не менее 0,0022 м, а при длине 0,03 м – не менее 0,0038 м.

В пятой главе «Хозяйственные испытания мобильного агрегата для доения коров» приведены результаты сравнительных испытаний мобильного агрегата, которые выполняли в хозяйствах Белгородской области на коровах с продуктивностью более 6000 кг молока с целью оценки результата его совершенствования, направленного на применение режима контроля завершения выведения молока из вымени коровы и снятия доильного аппарата с молочной железы при снижении общего потока молока по вымени ниже 200 мл/мин. (Рисунок 16). Критерием оценки его технологического процесса служили затраты ручного труда на обслуживание агрегата в процессе доения коров. Полученные результаты испытаний сравнивали с аналогичными показателями технологического процесса машинного доения коров, реализуемого мобильным доильным агрегатом АИД-1.

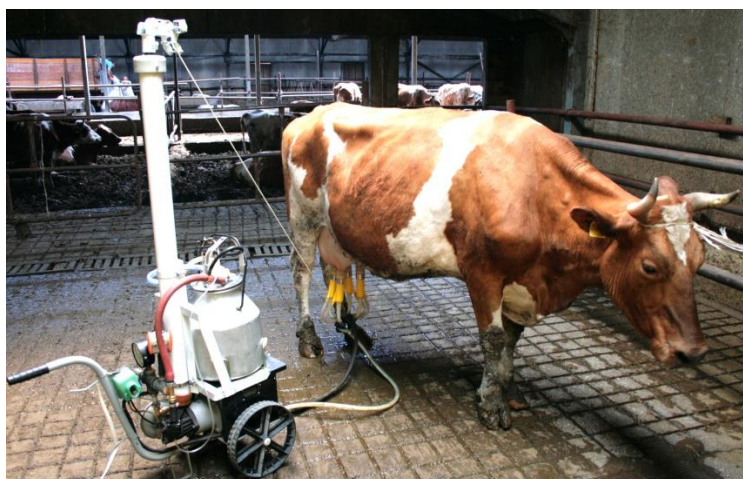


Рисунок 16. Процесс доения коровы

По итогам эксперимента, – 90 дней лактации, отмечается, что в результате использования экспериментального мобильного агрегата для доения коров в равнении с доильным агрегатом АИД-1 имеет место сокращение затрат времени на обслуживание одного агрегата на 16,98%, что позволяет оператору обслуживать два агрегата. Годовой экономический эффект экспериментального мобильного агрегата для доения коров с учетом приведенных затрат, в расчете на 20 голов, составляет 33703,8 рубля, а на одну голову – 1685,19 рубля. Внедрение экспериментального мобильного агрегата для доения коров в хозяйстве «Общество с ограниченной ответственностью юридическая компания «Мост»», в крестьянском (фермерском) хозяйстве «КФХ Григоров Максим Владимирович», позволило получить экономический эффект свыше 120,0 тысяч рублей в год.

Мобильный агрегат для доения коров на Российской агропромышленной выставке «Золотая Осень» в 2018 году награжден серебряной медалью.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Анализ технологий машинного доения коров и известных конструкций доильного оборудования позволил установить, что для доения малочисленных групп животных в условиях фермерских хозяйств целесообразно использовать мобильные доильные агрегаты с вертикально установленным пневмоцилиндром снятия доильного аппарата с вымени по завершению процесса доения, управляемым датчиком потока молока.

2. Разработаны математические модели рабочего процесса мобильного агрегата для доения коров, устанавливающие зависимость его устойчивости от опрокидывания под воздействием момента, создаваемого доильным аппаратом при его снятии с молочной железы животного, направления действия опрокидывающего момента, конструктивных параметров агрегата, а также положения опор шасси мобильного агрегата. При оценке коэффициента устойчивости мобильного агрегата против опрокидывания по реакции на опоре шасси B установлено, что его минимальное значение составляет $1,651$, а по реакции на опоре шасси O – $1,513$. И в первом и во втором случае коэффициент устойчивости мобильного агрегата превышает значение коэффициента устойчивости агрегата, равное $1,5$, который закладывали в исходные данные при расчете и изготовлении экспериментального образца мобильного агрегата. При заданных конструктивных параметрах мобильного агрегата для доения коров расстояние от первой опоры до линии опор A и B должно быть не менее $0,422$ м, а расстояние между опорами A и B – не менее $0,262$ м.

3. Установлено, что ход поршня пневмоцилиндра снятия доильного аппарата с вымени коровы, при котором исключается контакт доильного аппарата с полом стойла при его перемещении с точки подвеса на вымени в нижнюю точку траектории движения, зависит от расстояния от агрегата до доильного аппарата, установленного на вымени, и конструктивных параметров агрегата. Так для условия, что расстояние от платформы до поршня, при крайнем нижнем его положении, равно $0,1$ м; отклонение по высоте хвостовика относительно поршня, при крайнем верхнем его положении, равно $0,1$ м; отклонение по высоте положения точки крепления троса к доильному аппарату относительно платформы тележки доильного агрегата, равно $0,1$ м; при максимальном расстоянии от точки крепления троса к доильному аппарату до положения хвостовика в горизонтальной плоскости $1,50$ м ход поршня должен быть не менее $1,04$ м.

4. Доказано, что при увеличении массы доильного аппарата и начального его удаления от доильного агрегата, сила натяжения троса возрастает и достигает максимума в нижней точке траектории движения. При массе доильного аппарата 4 кг и начальном удалении $1,5$ м она составляет $53,9$ Н. Для управляемого снятия доильного аппарата с предупреждением его контакта с полом стойла коровы в нижней точке его траектории движения при диаметре пневмоцилиндра $0,06$ м вакуумметрическое давление должно быть не ниже $37,5$ кПа, а при диаметре $0,07$ м – не менее $28,0$ кПа.

5. Для обеспечения снятия доильного аппарата с вымени животного, минимальное время движения которого по траектории, исключаяющей его контакт с полом стойла коровы, наблюдается при его удалении $0,5$ м и составляет $0,428$ с,

для достижения в указанный промежуток времени в полости пневмоцилиндра вакууммируемым объемом $0,003 \text{ м}^3$ вакуумметрического давления $37,5 \text{ кПа}$ при длине патрубка $0,01 \text{ м}$ его диаметр должен быть не менее $0,0022 \text{ м}$, а при длине $0,03 \text{ м}$ – не менее $0,0038 \text{ м}$.

6. Установлено, что в результате использования экспериментального мобильного агрегата для доения коров в сравнении с доильным агрегатом АИД-1 имеет место сокращение затрат времени на обслуживание одного агрегата на $16,98\%$, что позволяет оператору обслуживать два агрегата. Годовой экономический эффект экспериментального мобильного агрегата для доения коров с учетом приведенных затрат, в расчете на 20 голов, составляет $33703,8$ рубля, а на одну голову – $1685,19$ рубля. Внедрение мобильного агрегата для доения коров в хозяйствах Белгородской области позволило получить экономический эффект свыше $120,0$ тысяч рублей в год.

Рекомендации производству. Разработанный мобильный агрегат для доения коров, содержащий пневмоцилиндр снятия доильного аппарата с вымени коровы, управляемый датчиком потока молока, рекомендуется к использованию для доения немногочисленных групп коров.

Перспективы дальнейшей разработки темы. Целесообразно продолжить исследования по разработке и обоснованию конструктивно-режимных параметров доильного аппарата с почетвертным управляемым режимом доения коров.

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ ДИССЕРТАЦИИ ОПУБЛИКОВАНЫ В СЛЕДУЮЩИХ РАБОТАХ

Статьи в ведущих рецензируемых изданиях, рекомендованных ВАК России

1. Некипелов, С.И. Обоснование конструктивно-режимных параметров регулятора вакуумметрического давления адаптивного доильного аппарата / В.Ф. Ужик, А.И. Тетеряченко, С.И. Некипелов, О.В. Китаёва, А.А. Кабашко, В.А. Шахов / Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2017. № 3 (65). С. 101-105.

2. Некипелов, С.И. Мобильный агрегат для доения коров и его пневмоцилиндр снятия доильного аппарата / В.Ф. Ужик, С.И. Некипелов, О.В. Китаёва // Достижения науки и техники АПК. 2018. Т.32. № 12. С.71-75.

3. Некипелов, С.И. Экспериментальные исследования устойчивости против опрокидывания мобильного агрегата для доения коров / С.И. Некипелов, В.Ф. Ужик, О.В. Китаёва, О.С. Кузьмина, В.А. Шахов / Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2019. № 3 (77). С. 153-157.

4. Некипелов, С.И. К обеспечению устойчивости против опрокидывания мобильного агрегата для доения коров / В.Ф. Ужик, С.И. Некипелов, О.В. Китаёва, О.С. Кузьмина // Инновации в АПК: проблемы и перспективы. 2019. № 2 (22). С. 100-118.

Патенты

1. Переносной манипулятор для доения коров: пат. РФ № 2649668 Рос. Федерация / Ужик В.Ф., Некипелов С.И., Китаёва О.В. № 2017108088; заявл. 10.03.2017; опубл. 04.04.2018, Бюл. № 10.

2. Доильный агрегат: пат. РФ № 2654245 Рос. Федерация: /Ужик В.Ф., Некипелов С.И., Китаёва О.В., Кабашко А.А. № 2017110361; заявл. 28.03.2017; опубл. 17.05.2018, Бюл. № 10.

3. Доильный агрегат: пат. РФ № 2707518 Рос. Федерация: А01J 5/003 / Ужик В.Ф., Некипелов С.И., Китаёва О.В., Кабашко А.А., Кузьмина О.С. № 2019108170; заявл. 21.03.2019; опубл. 27.11.2019, Бюл. № 33.

4. Стенд для регистрации параметров траектории движения доильного аппарата при снятии с вымени коровы: пат. РФ № 2683478 Рос. Федерация: А01J 7/00 / Ужик В.Ф., Некипелов С.И., Китаёва О.В., Кабашко А.А., Прокофьев В.В. № 2018122571; заявл. 19.06.2018; опубл. 28.03.2019, Бюл. № 10.

Публикации в журналах, сборниках научных трудов и материалах конференций

1. Адаптивный манипулятор для доения коров / Ужик В.Ф., Некипелов С.И. Материалы XXI Всероссийской конференции с международным участием «Проблемы и решения современной аграрной экономики», 23 – 24 мая 2017 г. в 2 т. Т. 1, п. Майский // Издательство ФГБОУ ВО Белгородский ГАУ. С. 108-109.

2. Некипелов, С.И. Переносной манипулятор для доения коров / В.Ф. Ужик, С.И. Некипелов // Вестник Всероссийского научно-исследовательского института механизации животноводства. 2017. № 4 (28). С. 43-47.

3. Некипелов, С.И. Переносной манипулятор с почетвертным управляемым режимом доения коров / В.Ф. Ужик, О.С. Кузьмина, О.В. Китаёва, С.И. Некипелов // Вестник Всероссийского научно-исследовательского института механизации животноводства. 2019. № 4 (36). С. 51-56.

4. Передвижной доильный агрегат для коров / Ужик В.Ф., Некипелов С.И., Материалы XXII Всероссийской конференции с международным участием «Органическое сельское хозяйство: проблемы и перспективы», 28-29 мая 2018 года в 2 т. Том 1. п. Майский // Издательство ФГБОУ ВО Белгородский ГАУ, 2018. С. 246-248.

5. Некипелов С.И. Мобильный агрегат для доения коров / В.Ф. Ужик, С.И. Некипелов // Вестник Всероссийского научно-исследовательского института механизации животноводства. 2018. № 3 (31). С. 11-14.

6. Некипелов, С.И. Обоснование параметров пневмоцилиндра снятия доильного аппарата мобильного агрегата / В.Ф. Ужик, С.И. Некипелов, О.В. Китаёва // В сборнике: Актуальные проблемы агроинженерии и пути их решения. Издательство ФГБОУ ВО Белгородский ГАУ, 2018. С. 222-228.

7. Некипелов, С.И. Передвижной доильный агрегат для коров с пневмоцилиндром снятия доильного аппарата / Ужик В.Ф., Некипелов С.И., Китаева О.В. Материалы XXIII Всероссийской конференции с международным участием «Инновационные решения в аграрной науке – взгляд в будущее», 28-29 мая 2019 года в 2 т. Том 1. п. Майский // Издательство ФГБОУ ВО Белгородский ГАУ, 2019. С. 144-145.

Отпечатано в издательско-полиграфическом центре ФГБОУ ВО Мичуринский ГАУ

Подписано в печать 20.02.2020. Формат 60x84 ¹/₁₆,

Бумага офсетная № 1. Усл.печ.л. 1,3 Тираж 100 экз. Ризограф. Заказ № 20458

Издательско-полиграфический центр Мичуринского государственного аграрного университета
393760, Тамбовская обл., г. Мичуринск, ул. Интернациональная, 101,
тел. +7 (47545) 9-44-45

