

УДК 637.11: 636.034

UDC 637.11: 636.034

4.3.1. Технологии, машины и оборудование для агропромышленного комплекса (Технические науки)

4.3.1. Technologies, machines and equipment for the agro-industrial complex (Technical sciences)

УСТРОЙСТВО ВЫГОНА КОРОВ ИЗ ДОИЛЬНОГО БОКСА РОБОТА

A DEVICE FOR PUSHING COWS FROM THE ROBOT MILKING BOX

Ульянов Вячеслав Михайлович
доктор технических наук, профессор
E-mail: ulyanov-v@list.ru
Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева, Рязань, Россия

Ulyanov Vyacheslav Mikhaylovich
Doctor of technical sciences, professor
E-mail: ulyanov-v@list.ru
Ryazan State Agrotechnological University Named after P.A. Kostychev, Ryazan, Russia

Утолин Владимир Валентинович
доктор технических наук, доцент
E-mail: 6451985@mail.ru
Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева, Рязань, Россия

Utolin Vladimir Valentinovich
Candidate of technical sciences, associate professor
E-mail: 6451985@mail.ru
Ryazan State Agrotechnological University Named after P.A. Kostychev, Ryazan, Russia

Хрипин Владимир Александрович
кандидат технических наук, доцент
E-mail: khripin@mail.ru
Академия ФСИН России, г. Рязань, Россия

Khripin Vladimir Aleksandrovich
Candidate of technical sciences, associate professor
E-mail: khripin@mail.ru
Academy of the FPS of Russia, Ryazan, Russia

Садиков Рустам Ринатович
аспирант
E-mail: rustam.sadikov@milkagro.ru
Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева, Рязань, Россия

Sadikov Rustam Rinatovich
postgraduate student
E-mail: rustam.sadikov@milkagro.ru
Ryazan State Agrotechnological University Named after P.A. Kostychev, Ryazan, Russia

Юдаев Иван Юрьевич
магистрант
E-mail: Vano100998@mail.ru
Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева, Рязань, Россия

Yudaev Ivan Yur'evich
graduate student
E-mail: Vano100998@mail.ru
Ryazan State Agrotechnological University Named after P.A. Kostychev, Ryazan, Russia

Целью работы явились теоретическое и экспериментальное обоснование параметров специального устройства принудительного выгона коров из доильного бокса. Задачи исследований направлены на определение расхода воздуха и мощности вакуумного мотора устройства выгона коров из доильного бокса робота. В молочном животноводстве все шире на фермах стало применение роботизированной системы доения коров. При проведении исследований применялись теоретические и экспериментальные исследования для обоснования параметров специального устройства принудительного выгона коров. Использовались закономерности математики и физики. При проведении экспериментальных исследованиях использовалась как типовая методика, так и частная. Обработка опытных данных проводилась с использованием компьютерных программ. При теоретическом исследовании получены формулы для определения параметров вакуумного мотора устройства принудительного выгона коров. Экспериментально

The purpose of the work was to theoretically and experimentally substantiate the parameters of a special device for forced removal of cows from the milking box. The research objectives are aimed at determining the air flow and power of the vacuum motor of the device for driving cows out of the robot's milking box. In dairy farming, the use of robotic cow milking systems has become increasingly common on farms. When conducting research, theoretical and experimental studies were used to substantiate the parameters of a special device for forced grazing of cows. The laws of mathematics and physics were used. When conducting experimental studies, both standard and private methods were used. Processing of experimental data was carried out using computer programs. During a theoretical study, formulas were obtained to determine the parameters of the vacuum motor of a device for forced grazing of cows. The dependences of changes in power, air flow and rotation speed of the working body on the current working vacuum during operation of the vacuum motor of a device for forced grazing of cows were experimentally

получены зависимости изменения мощность, расхода воздуха и частоты вращения рабочего органа от действующего рабочего вакуума при работе вакуумного мотора устройства принудительного выгона коров. Представленные исследования позволяют обосновать параметры вакуумного мотора устройства принудительного выгона коров, в том числе расход воздуха и развиваемой мощности от действующего рабочего вакуума

Ключевые слова: КОРОВА, ДОИЛЬНЫЙ БОКС, РОБОТ, УСТРОЙСТВО ВЫГОНА КОРОВ, ВАКУУМНЫЙ МОТОР, КАТУШКА С ХЛЫСТОМ, ЧАСТОТА ВРАЩЕНИЯ, РАСХОД ВОЗДУХА, МОЩНОСТЬ

obtained. The presented studies make it possible to substantiate the parameters of the vacuum motor of the device for forced grazing of cows, including air consumption and the developed power from the current working vacuum

Keywords: COW, MILKING BOX, ROBOT, COW PUSHING DEVICE, VACUUM MOTOR, REEL WITH WHIP, ROTATION FREQUENCY, AIR FLOW, POWER

<http://dx.doi.org/10.21515/1990-4665-197-016>

Введение

В настоящее время в нашей стране активно развивается молочное животноводство. Широко внедряются современные технологии и технические средства для обслуживания коров. Все чаще на практике используются роботизированные системы, в том числе и доения. Современные фермы становятся всё более компьютеризованные. Преимущества в применение роботизированных систем доения заключается в полной автоматизации и качественном выполнении операций для производства молока. Применение роботов доения коров физиологически обосновано и практически сводит на нет ручные затраты труда. При этом обеспечен контроль за состоянием коров с целью создания благоприятных условий с позиции физиологии условий для животных [1,2].

При этом присущи недостатки. Это в первую очередь стоимость роботизированных систем. Так для робота, обслуживающего в среднем 60 коров стоимость колеблется в зависимости от производителя от 140 до 170 тыс. евро и выше. При этом значительно увеличится расход воды и электроэнергии. Но несмотря на это опыт применения доильных роботов говорит об их достаточно высокой эффективности.

<http://ej.kubagro.ru/2024/03/pdf/16.pdf>

При этом не следует забывать, что при применении роботов требуется иной подход к лактирующему молочному стаду. Это, во-первых, необходим подбор коров по параметрам вымени, во-вторых, для доильных роботов нужна определенная организация производственного процесса производства молока. Помещения для содержания животных, при этом должны позволять, то, что коровы совершают многократные передвижения для доения от 3 до 5 раз, а также для кормления – в среднем 4-8 раз в сутки. На практике применяют три варианта перемещения животных в коровнике для их самостоятельного посещения робота: управляемое движение с возможностью последующего после доения отбора коров, управляемое движение с предварительным до доения и последующим отбором коров, и свободное движение [3,4]. Следует отметить то, что при использовании доильных роботов значительное долю времени рабочий фермы тратит, чтобы подгонять животных на доение. Так как, часть коров по той или иной причине не хочет идти на доение или разрыв между предыдущим доением у них более 9 часов.

Для максимальной эффективности доильного робота, его целесообразно устанавливать в помещении, где содержатся коровы, и они привыкают к нему. Большинство коров заходят в робот для доения самостоятельно без их подгона. Они свободно перемещаются в помещении к зонам отдыха, кормления и доения. При свободном движении коровы посещают доильный бокс робота для получения концентрированного корма, а после привыкания и от давления молока в вымени. При входе в бокс посредством транспондера её идентифицируют, а далее либо роботу ставится задача «доение», либо открывается выходная дверь бокса. При доении вначале в кормушку через дозатор поступает порция комбикорма. Затем механическая рука робота перемещается под туловище коровы, захватывает боковой консоль с доильным аппаратом и подводит его под вымя животного. Расположение сосков на вымени коровы окончательно

определяются двумя инфракрасными датчиками. Начальной точкой отсчета передний правый сосок вымени, координаты его определяет один из датчиков. По завершению позиционирования поочередно на соски вымени надеваются доильные стаканы, и в них подается вода в виде струи для обмыва сосков. Затем сдаиваются первые струйки молока, которые вместе с водой сливаются в специальный бак. Начинается доение коровы, при этом количественные и качественные показатели, а также электропроводность определяются по каждой доли вымени. По завершению их выдаивания стаканы спадают с сосков вымени, и механическая рука робота выводит их в исходное положение. После дезинфекции вымени животного, передняя стенка с кормушкой отводится, открывая проход из станка и корова выходит.

Хронометраж технологических операций на самой крупной роботизированной ферме в России, расположенной в Рязанской области представлен в таблице.

Судя по данным таблицы, число подходов животных на отдельных работах на ферме различно. В среднем, на одну корову приходится 2,0–2,7 подхода к доильному роботу. Продолжительность доения коровы от 7,31 до 9,14 мин. Длительность простоя робота в сутки в холостом режиме от 11 до 36 %.

Помимо затрат ручного труда, которые возникают при подгоне коров к роботу есть еще проблема с животными, которые по тем или иным причинам не хотят выходить из станка робота после открытия двери с кормушкой. Одна из причин тому, что для стимула захода в доильный робот используется один принцип, привлечение вкусным комбикормом для того, чтобы корова самостоятельно шла в робот на доение.

Таблица – Хронометраж технологических операций при доении на роботах De Laval VMS

Робот №	Время операций в среднем, сек								ДС, надой	Средняя молокоотдача, кг/мин	Время в холостом режиме, %	Общее число доений	Среднесуточное кол-во доений	Всего дойных коров
	Среднее время доения, мин	Вход и идентификация	Обработка перед доением	Подключение	Доение	Обработка после доения	Выход животного	Итого, сек.						
VMS 01	0:08:10	7,0	40,0	84,0	316,0	15,0	24,0	486	1938,52	1,83	11	130	2,2	56
VMS 02	0:07:54	6,8	39,0	81,9	308,2	14,6	23,4	474	1995,93	1,93	23	131	2,3	52
VMS 03	0:08:37	7,4	42,6	89,4	336,2	16,0	25,5	517	1958,75	1,76	19	129	2,1	55
VMS 04	0:08:11	7,1	40,4	84,9	319,3	15,2	24,2	491	2090,61	2,03	13	126	2,3	51
VMS 05	0:08:30	7,3	42,0	88,1	331,6	15,7	25,2	510	2092,71	2,02	19	122	2,2	57
VMS 06	0:08:25	7,3	41,6	87,3	328,4	15,6	24,9	505	2046,88	2,03	26	120	2,2	53
VMS 07	0:08:17	7,2	40,9	85,9	323,2	15,3	24,5	497	1950,32	1,91	26	123	2,2	55
VMS 08	0:08:20	7,2	41,2	86,4	325,1	15,4	24,7	500	2037,03	1,96	17	125	2,3	56
VMS 09	0:07:36	6,6	37,5	78,8	296,5	14,1	22,5	456	1945,46	1,88	14	136	2,1	54
VMS 10	0:07:47	6,7	38,4	80,7	303,6	14,4	23,1	467	1595,90	1,75	32	117	2,7	52
VMS 11	0:07:56	6,9	39,2	82,3	309,5	14,7	23,5	476	2030,76	2,06	27	124	2,7	52
VMS 12	0:07:59	6,9	39,4	82,8	311,4	14,8	23,7	479	1981,23	2,08	22	119	2,4	51

Робот №	Время операций в среднем, сек								ДС, надой	Средняя молокоотдача, кг/мин	Время в холостом режиме, %	Общее число доений	Среднесуточное кол-во доений	Всего дойных коров
	Среднее время доения, мин	Вход и идентификация	Обработка перед доением	Подключение	Доение	Обработка после доения	Выход животного	Итого, сек.						
VMS 13	0:07:36	6,6	37,5	78,8	296,5	14,1	22,5	456	2163,59	2,19	16	130	2,1	56
VMS 14	0:07:37	6,6	37,6	79,0	297,1	14,1	22,6	457	1735,96	2,06	36	111	2,4	53
VMS 15	0:07:52	7,7	43,8	92,0	345,9	16,4	26,3	532	1826,71	1,84	25	126	2,2	56
VMS 16	0:07:31	6,5	37,1	78,0	293,2	13,9	22,3	451	1871,18	1,89	19	132	2,3	52
VMS 17	0:09:11	7,9	45,3	95,2	358,3	17,0	27,2	551	2422,07	2,16	10	122	2,0	55
VMS 18	0:09:16	8,0	45,8	96,1	361,5	17,2	27,5	556	2089,90	2,09	25	108	2,1	54
VMS 19	0:08:50	7,6	43,6	91,6	344,6	16,4	26,2	530	1619,30	1,67	27	110	2,0	52
VMS 20	0:08:37	7,4	42,6	89,4	336,2	16,0	25,5	517	1778,13	1,66	12	124	2,2	50
VMS 21	0:07:55	6,8	39,1	82,1	308,8	14,7	23,5	475	998,70	1,60	39	79	2,3	44
VMS 22	0:08:02	6,9	39,7	83,3	313,4	14,9	23,8	482	1337,78	1,60	36	104	2,1	42
VMS 23	0:09:14	8,0	45,6	95,8	360,2	17,1	27,4	554	2118,09	2,03	23	113	2,2	53
VMS 24	0:09:00	7,8	44,4	93,3	351,1	16,7	26,7	540	1885,61	1,89	19	111	2,5	52

У коровы вырабатывается стереотип поведения. Многие из них идут в робот именно за комбикормом, а не для доения. Одни коровы, более сильные посещают робот доения чаще других, вытесняя при этом более слабых. Корова после поедания комбикорма может ударить по дозатору кормораздатчика для несанкционированного высыпания из него концентратов. По завершению доения они не спешат выходить из бокса при открытии выходной калитки, ожидая порцию комбинированного корма. В зависимости от времени пребывания при открытой выходной двери требуется принудительный выгон коровы из доильного бокса. Для этих целей используют специальные устройства. Их можно разделить на две группы. Первая группа это электрические разрядные, вторая механические контактные.

В устройствах, где используют электрический разряд высокого напряжения порядка 5000-6000 В и малый ток, их принцип подобен электропастуху или электрошокеру. Так, например, в доильном роботе SAC (Дания), если корова не хочет выходит добровольно почему-то из станка робота, её выгоняют принудительно. Включается специальное устройство, которое похлестывает корову по крестцу слабым электротоком высокого напряжения. Похожее устройство применяется также в немецком доильном роботе «Монобокс» GEA, если животное задерживается в боксе после доения, есть возможность выгона с помощью электровыгонялки. Чтобы животные не боялись доения, прибор включается с задержкой и постепенно повышает мощность [3].

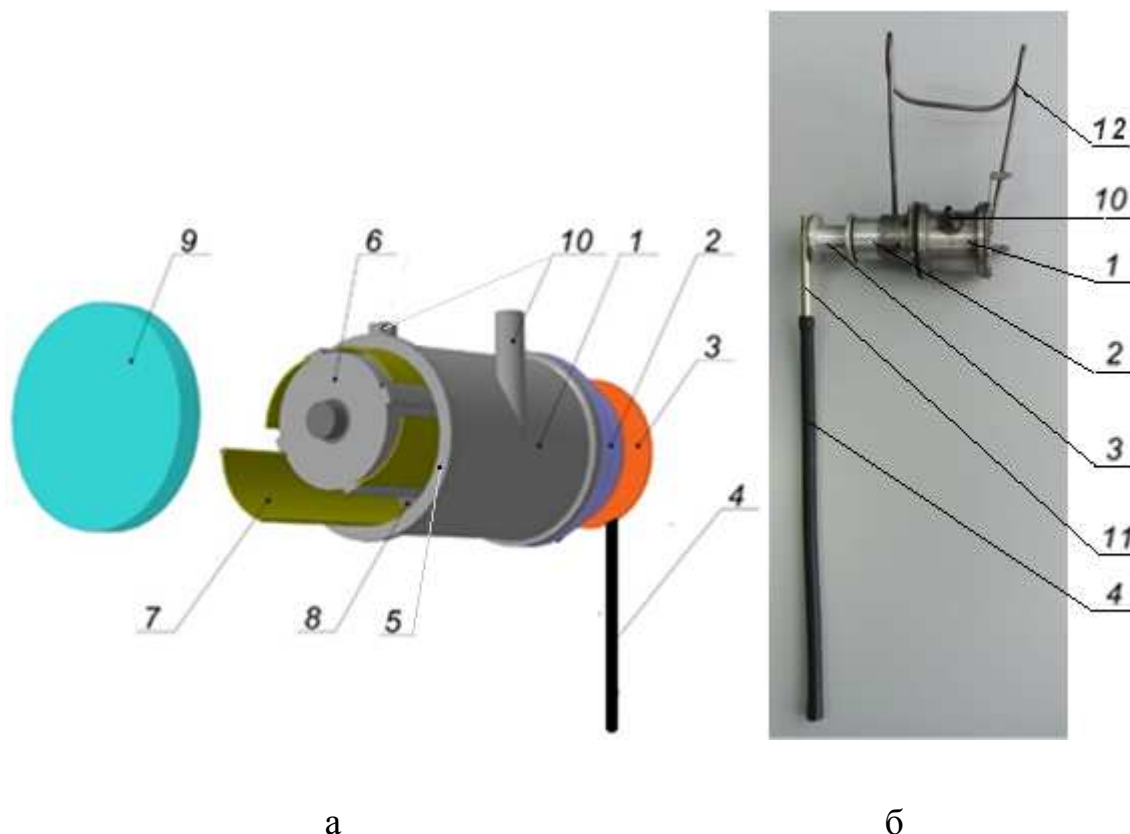
В доильном роботе VMS шведской фирмы De Laval используется механический контактный метод выгона коров из станка посредством выполненной в виде в трубки-хлыста с пневматическим приводом. Назначение такого погонщика коров – ткнуть корову в круп, чтобы она почувствовала себя некомфортно и, поэтому захотела уйти из доильного бокса робота по завершению доения [5].

Проблема задержки животных в боксе чревата увеличением среднего времени простоя (см. таблицу), что снижает эффективность применения робота. Целесообразно, чтобы через доильный робот за сутки проходило больше число коров, которых требуется выдаивать, обычно продолжительность перерыва с предыдущего доения не меньше 4 часов.

Если говорить о методе, который целесообразно применять на практике, то здесь можно сказать следующее. Электроразрядный метод выгона животных, на наш взгляд, применять не целесообразно. Так как воздействие высоковольтным электрическим разрядом не свойственно природе поведения животных. От такого воздействия коровы начинают бояться ходить в бокс робота не только на доение, но даже на получение порций комбикорма при заходе в станок. Второй метод, наоборот, более предпочтителен. Так как коровы стадные животные, где присущи ранговые взаимоотношения и соответственно более сильные животные могут при этом физически воздействовать друг на друга. Каждое механическое силовое воздействие должно быть в пределах разумного, без причинения повреждений и гематом животным. Однако, то, что используется в работе фирмы De Laval VMS, как показала практика малоэффективное средство, требуется дальнейшее совершенствование. О чем сказано ниже.

В Рязанском агротехнологическом университете разработано специальное устройство принудительного выгона коров из доильного бокса робота по завершению доения (рис. 1). Оно содержит вакуумный мотор 1, редуктор 2 и катушку 3 с рабочим органом в виде упругого хлыста 4, закрепленного на державке 11. Вакуумный мотор 1 содержит корпус 5 с камерой с расположенным эксцентрично в ней ротором 6 с шарнирными криволинейными лопатками 7. Они в полости корпуса 5 формируют четыре изолированные между собой камеры. В корпусе 5 выполнен патрубок 10 для сообщения с источником вакуума с камерой ротора и отверстие, либо патрубок – с атмосферой. Это обеспечивает

перепад давлений на лопатках 7 ротора 6 и его вращение с приводом редуктора 2 с катушкой 3 и рабочим органом с хлыстом 4 для воздействия на круп животного в зоне крестца.



1 – мотор; 2 – редуктор; 3 – катушка; 4 – хлыст; 5 – корпус; 6 – ротор; 7 – лопатка; 8 – упругий элемент; 9 – крышка; 10 – патрубок; 11 – державка; 12 – фиксатор

Рис. 1 – Устройство принудительного выгона коров:

а – схема; б – общий вид.

На выходном конце пневмодвигателя установлен редуктор 2 планетарного типа с передаточным отношением 1:8 с катушкой 3. Катушка в опытном образце использована для наматывания шнура для подъёма нагрузки при проведении эксперимента для определения развиваемой мощности вакуумного мотора, а в производственном образце на неё можно

закреплять жгут рабочего органа. Устройство в доильном боксе работа крепится просто с помощью фиксатора 12, либо неподвижно на верхней балке доильного станка над крупом коровы.

По завершению доения и обработки сосков, открывается, поворачиваясь, выходная калитка с кормушкой для выпуска коровы. Если по каким-либо причинам животное не выходит через 10 секунд из станка, то электромагнитный клапан подсоединяет разряжение к вакуумному мотору устройства, оно начинает работать, от чего катушка с рабочим органом вращается и хлыстом ударяет несколько раз, похлестывает корову по крестцовой части туловища коровы. Гибкий хлыст при этом перегибается и скользит по телу коровы, не причиняя ей вреда, но способствует тому, чтобы коровы начала движение. От механического воздействия животное выгоняется принудительно из бокса.

Цель и задачи исследования

Теоретическое и экспериментальное обоснование параметров специального устройства принудительного выгона коров из доильного бокса. Задачи исследований направлены на определение расхода воздуха и мощности вакуумного мотора устройства выгона коров из доильного бокса работа.

Методы и материалы

Использовались теоретические и экспериментальные исследования при обосновании параметров механического выгонщика коров с использованием действующего макета. При проведении экспериментальных исследованиях использовалась как типовая методика, так и частная. Обработка опытных данных проводилась с использованием компьютерных программ.

Основным узлом выгонщика является пневматический привод, в

виде вакуумного мотора соединенный передаточным механизмом с рабочим органом. Основными характеристиками указанного вакуумного мотора является расход воздуха, снимаемая мощность и частота вращения ротора.

Расхода воздуха (Q_e , m^3/c) и соответственно нагрузка на вакуумную систему при работающем моторе можно определить теоретически, используя формулы для пневматических машин вращательного движения, имеем [6].

$$Q_e = \psi \frac{p_a}{p_a - p_e} l F z n, \quad (1)$$

где ψ – опытный коэффициент, учитывает перетекания воздуха в камерах вакуумного мотора, $\psi = \frac{Q_e}{Q_m}$; p_a – соответственно величина атмосферного и вакуумметрического давлений действующих на лопатку ротора, Pa ; l – полезная длина ротора вакуумного мотора, m ; F – полезная площадь рабочего поперечного сечения роторной камеры между двумя лопатками в момент отсечения поступления воздуха в камеру, m^2 ; z – число лопаток на роторе мотора, шт.; n – частота вращения ротора вакуумного мотора, c^{-1} ; Q_e, Q_m – соответственно экспериментальный и теоретический расход воздуха вакуумным мотором, m^3/c ;

Схема для нахождения полезной площади рабочего сечения роторной камеры F вакуумного мотора представлена на рисунке 2.

На рисунке 2 представлены следующие обозначения: R, r – соответственно радиус камеры и ротора в ней; углы α и β соответственно фиксируют положение лопаток и ротора мотора в момент отсечки засасываемого объема воздуха в камере; углы φ и φ_1 определяют соответственно положение впускного и выпускного окон мотора.

Заштрихованная площадь $ACDEFB$, ограниченная соседними шарнирно установленными лопатками в пазах ротора и внутренней поверхностью камеры в момент отсечки атмосферы путем перекрытия

впускного окна и начала открытия вакуумной камеры. Для упрощения аналитического определения площади заштрихованной фигуры ее разобьем на три части, а именно фигура ABC (F_1), фигура DFE (F_2) и фигура $BCDF$ (F_3). Или площадь фигуры $ABFEDC$ примет вид

$$F = F_1 + F_2 + F_3, \tag{2}$$

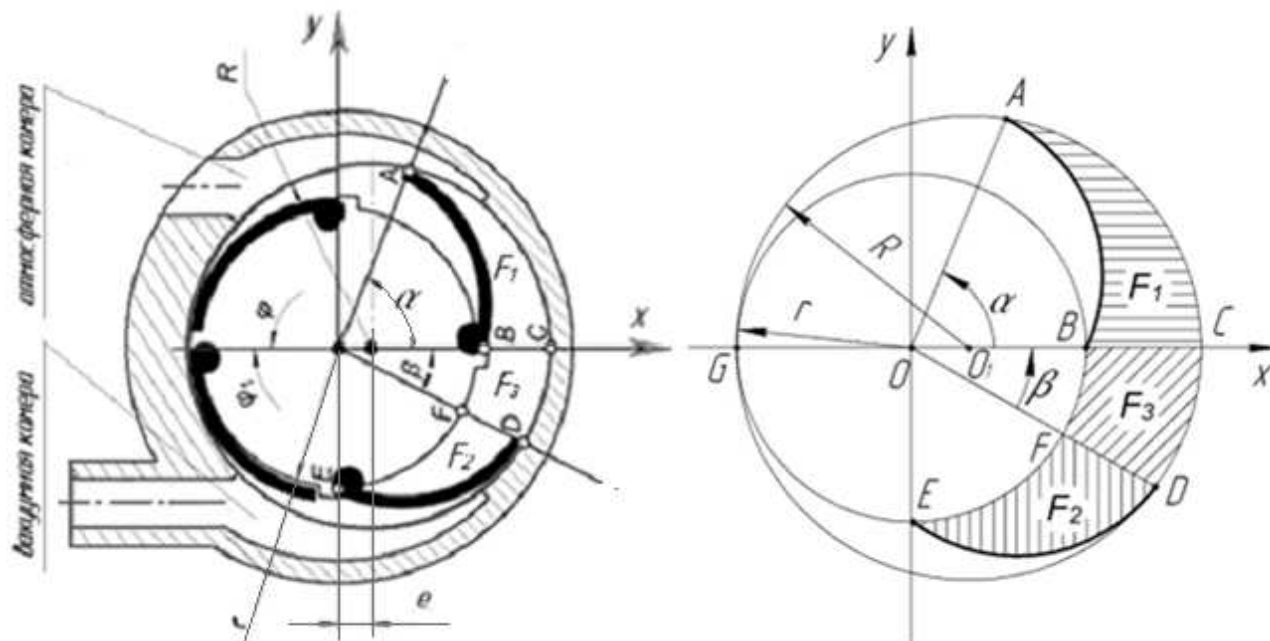


Рис. 2 – Расчетная схема к определению площади сечения камеры мотора

Примем т. O есть начало отсчета. $BFEG$ – окружность радиуса r с центром в т. O . Фигура $ACDG$ – окружность радиуса $R > r$ с центром в т. $O_1(r - R; 0)$ и сопряжена с первой окружностью в т. $G(-r; 0)$, что на оси OX . Дуга AB равна четверти окружности радиуса r , которая пересекает т. $B(r; 0)$ и т. A , второй окружности. Дуга ED также равна четверти окружности радиуса r , но проходит через т. $E(0; r)$ и точку D на второй окружности. Толщина криволинейных лопаток равна нулю, выступы ротора в местах установки лопаток не учитываем.

Результаты по нахождении площади заштрихованной фигуры $ACDEFB$ приводим ниже.

Площадь фигуры ABC (F_1) составит

$$F_1 = \frac{1}{2} \int_0^{\alpha_2} \{[\rho_1(\varphi)]^2 - [\rho_2(\varphi)]^2\} d\varphi = \frac{1}{2} \left(\int_0^{\alpha_2} [\rho_1(\varphi)]^2 d\varphi - \int_0^{\alpha_2} [\rho_2(\varphi)]^2 d\varphi \right), \quad (3)$$

где $\rho = \rho_1(\varphi)$, $\rho = \rho_2(\varphi)$ – соответственно полярные уравнения линий AC и AB

Решение интегралов, входящих в формулу (3), позволило получить выражение для определения площади фигуры ABC (F_1):

$$F_1 = \frac{R^2 \alpha + (R - r)^2 \sin \alpha \cos \alpha}{2} + \frac{(R-r)}{2} \left[\sin \alpha \sqrt{R^2 - (R-r)^2 \sin^2 \alpha} + \frac{R^2}{(R-r)} \arcsin \left(\frac{R-r}{R} \sin \alpha \right) \right] + \frac{1}{2} \{ r^2 \alpha + \sin \alpha [(x_1^2 - y_1^2) \cos \alpha + 2x_1 y_1 \sin \alpha] \} + \frac{1}{2} \left[(x_1 \sin \alpha - y_1 \cos \alpha) \sqrt{r^2 - (x_1^2 + y_1^2) \sin^2 (\alpha - \varphi_1)} + y_1 \sqrt{r^2 - y_1^2} \right] + \frac{r^2}{2} \left(\arcsin \left[\left(\frac{x_1 \sin \alpha - y_1 \cos \alpha}{r} \right) \right] + \arcsin \left[\frac{y_1}{r} \right] \right). \quad (4)$$

Угол α_2 , момент перекрытия подачи атмосферного воздуха в камеру ротора определяется из выражений:

$$\cos \alpha_2 = \frac{R-r}{\sqrt{2Rr-R^2}}; \quad \sin \alpha_2 = \sqrt{\frac{4Rr-2R^2-r^2}{2Rr-R^2}}. \quad (5)$$

Интеграл для определения площади фигуры DFE (F_2) имеет вид:

$$F_2 = \frac{1}{2} \int_{\frac{\pi}{2}}^{-\beta} ([\rho_3(\varphi)]^2 - r^2) d\varphi, \quad (6)$$

где $\rho = \rho_3(\varphi)$ – полярное уравнение линии ED .

После определения интеграла из уравнения (6), формула для нахождения площади F_2 будет

$$F_2 = \cos \beta \cdot \frac{2r^2(R-r)^2}{(R^2 - 2Rr + 2r^2)^2} (R(R-2r) \sin \beta + 2r(R-r) \cos \beta) + \frac{1}{2} \left(x_2 \sqrt{r^2 - x_2^2} - (x_2 \sin \beta + y_2 \cos \beta) \sqrt{r^2 - (x_2 \sin \beta + y_2 \cos \beta)^2} \right) +$$

$$+ \frac{r^2}{2} \left(\arcsin\left(\frac{x_2}{r}\right) - \arcsin\left(\frac{x_2 \sin \beta + y_2 \cos \beta}{r}\right) \right). \quad (7)$$

Угол β начала выпуска воздуха из камеры ротора определяется из выражений:

$$\cos \beta = \frac{4Rr - R^2 - 2r^2}{\sqrt{5R^4 - 16R^3r + 24R^2r^2 - 16Rr^3 + 4r^4}}; \quad (8)$$

$$\sin \beta = \frac{2R(R-r)}{\sqrt{5R^4 - 16R^3r + 24R^2r^2 - 16Rr^3 + 4r^4}}.$$

Площадь фигуры $BCDF$ (F_3) находится по формуле

$$F_3 = \frac{1}{2} \int_{-\beta}^0 ([\rho_1(\varphi)]^2 - r^2) d\varphi \quad (9)$$

где $\rho = \rho_1(\varphi)$ – полярное уравнение линии CD , дуга окружности радиуса R с центром в т. $(R-r; 0)$.

Решение интегралов, входящих в формулу (10), позволило получить выражение для определения площади F_3

$$F_3 = \frac{R^2 - r^2}{2} \arcsin \frac{2R(R-r)}{\sqrt{5R^4 - 16R^3r + 24R^2r^2 - 16Rr^3 + 4r^4}} + \frac{(R-r)^2}{2} \sin \beta \cos \beta + \frac{R^2}{2} \arcsin \left(\frac{R-r}{R} \sin \beta \right) + \frac{(R-r) \sin \beta \sqrt{R^2 - (R-r)^2 \sin^2 \beta}}{2}. \quad (10)$$

Итак, подставляя полученные значения площадей фигур ABC (F_1), DFE (F_2), $BCDF$ (F_3) из выражений (4), (7), (10) в выражение (2), получаем формулу для площади поперечного сечения фигуры $ABFEDC$, заключенной между криволинейными лопатками и внутренней поверхностью роторной камеры в момент отсечки воздуха в неё.

Для нахождения расход воздуха Q_v вакуумным мотором устройства полученное значение площади F следует подставить формулу (1).

Мощность мотора (N) на привод катушки с рабочим органом в первую очередь зависит от массы используемого хлыста, частоты вращения барабана. Эти факторы напрямую влияют на силовое воздействие для создания дискомфорта корове в станке, от которого она вынуждена быстро без участия обслуживающего персонала выйти.

$$N \geq (\omega^2 r + g) f m \omega r \quad (11)$$

где m – масса используемого хлыста, кг; g – есть ускорение свободного падения, м/с²; r – радиус до места контакта хлыста с крупом коровы, м; ω – угловая скорость барабана, рад/с; f – коэффициент трения хлыста по коже животного.

По предложенной формуле (11) рассчитывается потребная мощность для преодоления сил сопротивления после контакта при перемещении хлыста на туловище коровы.

Результаты и обсуждение

Для проверки работоспособности вакуумного мотора и теоретических исследований был изготовлен действующий макет. Предварительные расчеты позволили определить геометрические размеры вакуумного мотора, а именно: диаметр ротора 0,045 м, а его длина 0,06 м, при диаметре роторной камеры 0,056 м и внутренним диаметром вакуумном патрубке 6 мм.

В виду того, что частота вращения ротора при рабочем вакууме около 50 кПа находится в пределах 1000 с⁻¹, что достаточно велика для рабочего органа нашего устройства. Поэтому вал на конце ротора был выполнен в виде вала-шестерни для соединения с сателлитами планетарного мини редуктора с передаточным отношением 1:8, на валу которого установлена катушка диаметром 26 мм. Катушка в действующем

макете использовалась для наматывания шнура для подъёма груза с целью определения развиваемой мощности. Для проведения экспериментов была разработана и собрана лабораторная установка для исследования вакуумного мотора. Который с редуктором в дальнейшем был назван как мотор-редуктор. Установка включала вакуумпровод доильного агрегата, газовый счетчик, вакуумный мотор-редуктор с катушкой на выходном валу, датчик положения, тахометр, электромагнитный клапан, источник питания с пультом управления, секундомер, электронный безмен и емкость для жидкости имитирующая нагрузка [7].

В ходе эксперимента определяли расход воздуха вакуумным мотор-редуктором и развиваемую им мощность. Для проведения опытов включалась вакуумная установка доильного агрегата. Затем с пульта посредством электромагнитного клапана при его открытии подсоединялся мотор-редуктор к вакуумпроводу агрегата и одновременно включался электрический секундомер. Атмосферный воздух, засасываемый вакуумным мотором и создавая перепад давлений на лопатках, обеспечивал крутящий момент ротора мотора, и откачивался в вакуумпровод через газовый счетчик, который учитывал его объём. При этом частоту вращения катушки, которая наматывала гибкий шнур фиксировали тахометром. Шнур поднимал вверх емкость с водой до момента отключения датчиком движения, который через электромагнитный клапан отключал одновременно вакуумный мотор-редуктор от вакуумпровода и секундомер. После чего фиксировались показания газового счетчика и секундомера для нахождения расхода вакуумного мотор-редуктора. Мощность, снимаемую с катушки вакуумного мотор-редуктора, находили косвенно путем произведения сомножителей: массы поднимаемой емкости с жидкостью, диаметра катушки, её частоты вращения, ускорения свободного падения и

постоянной π . При эксперименте использовали четырехкратную повторяемость опытов каждой серии.

По результатам выполненных исследований работы вакуумного мотора были оформлены графические зависимости для расхода воздуха, получаемой мощности и частоты вращения от рабочего вакуума (рис. 3).

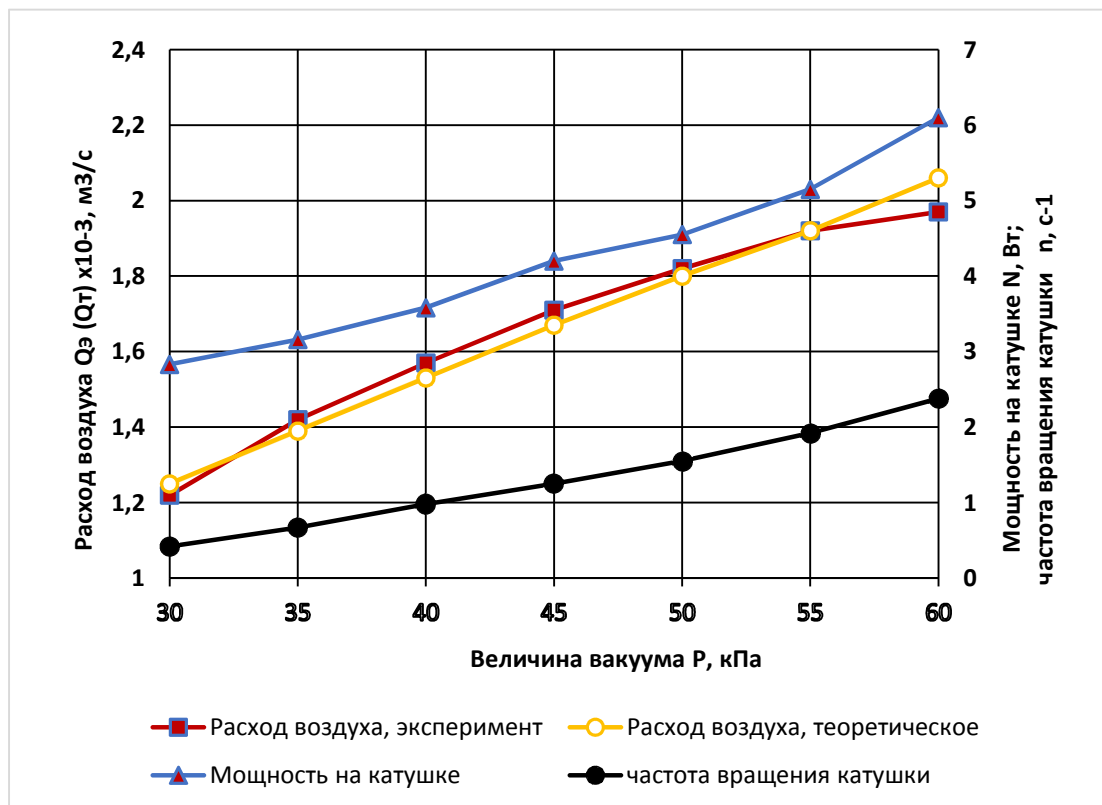


Рис. 3 – Графические экспериментальные зависимости расхода воздуха $Q_{\text{э}}$, мощности на катушке N и частоты вращения катушки n , и теоретическая зависимость расхода воздуха $Q_{\text{т}}$, вычисленная по формуле (1) от действующего рабочего вакуума P .

Как следует из рисунка 3 все показатели, такие, как расход воздуха вакуумным мотором, снимаемая с катушки мощность и частота вращения катушки с ростом рабочего вакуума повышаются. Это происходит из-за увеличения прокачиваемого через мотор воздуха, который влияет на другие показатели, что следует из формулы 1. При этом вычисленные по

ней значения теоретического расхода воздуха имеют хорошую сходимость (среднее значение 96%) с опытными данными.

Это говорить о пригодности применения формулы для обоснования параметров вакуумного мотора. Если рассматривать диапазон используемых на практике значений вакуума в доильных машинах от 40-50 кПа, то расход воздуха мотором устройства составит $(1,57-1,82) \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{с}$, при этом снимаемая мощность с катушки будет 3,58-4,55 Вт при частоте её вращения 0,98-1,55 с^{-1} .

При расчете по формуле (1) для получения теоретической зависимости были приняты следующие показатели: угол φ и φ_1 соответственно 120 и 60 градусов (см. рис. 2), эксцентриситет ротора в камеры $e = 0,01 \text{ м}$, частота вращения ротора 1000 с^{-1} , при этом поправочный коэффициент составил $\Psi = 2,5$, данный коэффициент учитывает перетечки воздуха из-за недостаточной герметизации камер между криволинейными шарнирными лопатками.

При определении потребной мощности для работоспособности устройства выгона коровы из станка воспользуемся формулой (11) при значениях вакуума 40 и 50 кПа. Приняв следующие значения входящих величин значения угловой скорости ω составит соответственно 6,154 и 9,734 рад/с, радиус вращения гибкого резинового хлыста при контакте с крупом животного $r = 0,4 \text{ м}$, коэффициент трения резины по коже коровы $f = 0,21 - 0,24$ [8], масса конца хлыста, контактируемого с животным $m = 0,08 \text{ кг}$. Тогда требуемая мощность привода для преодоления сопротивления при контакте гибкого хлыста с крупом коровы составит 1,18 и 3,57 Вт. Как следует из данных, представленных на рисунке 3 развиваемая мощность в указанном диапазоне рабочего вакуума составляет 3,58-4,55 Вт, что вполне достаточно для функционирования механического устройства выгона коровы из станка.

Вывод

Применение роботов доения коров физиологически обосновано и практически ликвидирует ручные затраты труда на доение. Доильным роботам присущи недостатки, в том числе, что некоторые коровы по тем или иным причинам не хотят выходить из станка робота после открытия двери с кормушкой. Нами предложено простое и эффективное устройство для принудительного выгона коровы из доильного бокса, когда возникает такая необходимость. Устройство представляет собой вакуумный мотор-редуктор, на валу которого установлена катушка с гибким хлыстом для механического контакта с крупом животного. Теоретически обоснованы параметры камеры вакуумного мотора, предложена формула для определения расхода воздуха и определения потребной мощности на привод. Экспериментально доказана работоспособность предложенного мотор-редуктора устройства принудительного выгона коровы и определены действительные расход воздуха и мощность при работе предложенного устройства, что позволило подтвердить высокую сходимость результатов теоретических и лабораторных исследований. При применяемом на практике диапазоне значений вакуума в доильных машинах от 40-50 кПа и предложенном устройстве расход воздуха вакуумного мотора составит $(1,57-1,82) \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{с}$ при этом снимаемая мощность с катушки будет 3,58-4,55 Вт при частоте её вращения 0,98-1,55 с^{-1} .

Список литературы

1. Направления исследований при создании автоматизированных и роботизированных модулей доения коров / Ю.А. Иванов, Л.П. Кормановский, Ю.А. Цой, В.В. Кирсанов // Вестник Всероссийского научно-исследовательского института механизации животноводства. 2018. № 3 (31). С. 15-19. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=35617609>
2. Чеченихина, О.С. Эффективность внедрения роботизированной системы доения крупного рогатого скота / О.С. Чеченихина // Аграрный вестник Урала. – 2018. – № 8(175). – С. 11. – EDN YLGQX.

3. Роботизированные системы в животноводстве [Электронный ресурс]: [учеб. пособие] /А.А. Науменко, А.А. Чигрин, А.П. Палий и др.// ХНТУСХ, Харьков, 2015. – 171 с.
4. Тихомиров, И. А. Технологические особенности использования доильных роботов в молочном скотоводстве /И.А. Тихомиров, В.К. Скоркин //Техника и технологии в животноводстве. – 2020. – № 1(37). – С. 32-37. – EDN ANUCAS.
5. Instruction Book DeLaval voluntary milking system VMS model 2008/ DeLaval Box 39 SE-147 21 Tumba SWEDEN, 2007– 198 с.
6. Пневмопривод и средства автоматики [Электронный ресурс]: [учеб. пособие]/ Н.Д. Быстров, Иголкин А.А., Илюхин В.Н., Петренко С.А., Шахматов Е.В. – Самара: Издательство СГАУ, 2006. – 112 с. – ISBN 978-5-7883-0439-3. – URL: <https://rucont.ru/efd/176209>.
7. Доильный аппарат со съёмником его подвесной части с вымени коровы / В.М. Ульянов, В.А. Хрипин, В.В. Утолин, А.Ю. Волков// Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2023. – № 189. – С. 126-142. – DOI 10.21515/1990-4665-189-015. – EDN VCTKUB.
8. Исследование физико-механических характеристик сосков вымени коровы / В.М. Ульянов, В.А. Хрипин, А.А. Хрипин, Н.В. Бубнов // Вестник аграрной науки Дона. – 2018. – № 4(44). – С. 65-75. – EDN TMXPEF.

References

1. Napravleniya issledovaniy pri sozdanii avtomatizirovannyh i robotizirovannyh modulej doeniya korov / Yu.A. Ivanov, L.P. Kormanovskij, Yu.A. Coj, V.V. Kirsanov // Vestnik Vserossijskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta mekhanizacii zhivotnovodstva. 2018. № 3 (31). S. 15-19. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=35617609>
2. Chechenihina, O.S. Effektivnost' vnedreniya robotizirovannoj sistemy doeniya krupnogo rogatogo skota / O.S. Chechenihina // Agrarnyj vestnik Urala. – 2018. – № 8(175). – S. 11. – EDN YLGQX.
3. Robotizirovannye sistemy v zhivotnovodstve [Elektronnyj resurs]: [ucheb. posobie] /А.А. Науменко, А.А. Чигрин, А.П. Палий и др.// ХНТУСХ, Харьков, 2015. – 171 с.
4. Тихомиров, И. А. Технологические особенности использования доильных роботов в молочном скотоводстве /И.А. Тихомиров, В.К. Скоркин //Техника и технологии в животноводстве. – 2020. – № 1(37). – С. 32-37. – EDN ANUCAS.
5. Instruction Book DeLaval voluntary milking system VMS model 2008/ DeLaval Box 39 SE-147 21 Tumba SWEDEN, 2007– 198 с.
6. Пневмопривод и средства автоматики [Электронный ресурс]: [учеб. пособие]/ Н.Д. Быстров, Иголкин А.А., Илюхин В.Н., Петренко С.А., Шахматов Е.В. – Самара: Издательство СГАУ, 2006. – 112 с. – ISBN 978-5-7883-0439-3. – URL: <https://rucont.ru/efd/176209>.
7. Доильный аппарат со съёмником его подвесной части с вымени коровы / В.М. Ульянов, В.А. Хрипин, В.В. Утолин, А.Ю. Волков// Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2023. – № 189. – С. 126-142. – DOI 10.21515/1990-4665-189-015. – EDN VCTKUB.
8. Исследование физико-механических характеристик сосков вымени коровы / В.М. Ульянов, В.А. Хрипин, А.А. Хрипин, Н.В. Бубнов // Вестник аграрной науки Дона. – 2018. – № 4(44). – С. 65-75. – EDN TMXPEF.