

МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОЧЕГО ПРОЦЕССА ПОПЛАВКОВЫХ ДАТЧИКОВ ПОТОКА МОЛОКА ПЕРЕНОСНОГО АДАПТИВНОГО МАНИПУЛЯТОРА ДОЕНИЯ КОРОВ

Владимир Фёдорович Ужик
Ольга Сергеевна Кузьмина
Оксана Владимировна Китаёва
Юрий Александрович Китаёв

Белгородский государственный аграрный университет имени В.Я. Горина

Представлены результаты моделирования рабочего процесса поплавковых датчиков потока молока переносного адаптивного манипулятора доения коров с подольным управляемым режимом доения, установленных в четырёхсекционном коллекторе доильного аппарата, с целью получения математических зависимостей, позволяющих рассчитать основные конструктивные параметры датчиков потока молока. При использовании поплавкового датчика потока молока одним из параметров, с которым связана глубина молокоприёмных камер датчиков, является требуемое перемещение поплавка с магнитом, при котором обеспечивается срабатывание геркона, включённого в цепь управления коммутацией воздушных потоков управления режимом доения. Математическое моделирование рабочего процесса выполняли, используя известные законы физики, теоретической механики, гидравлики и математики. Изменение вакуумного режима доения в каждом доильном стакане осуществляли путём замыкания – размыкания контактов герконов под воздействием магнитного поля магнитов, прикреплённых к поплавкам. В конструкции датчика потока молока используются неодимовые магниты (*NdFeB*) размером 4×4×4 мм и герконы КЭМ-3 группы А (максимальное удаление геркона от магнита в момент замыкания его контактов составляет 21,3 мм, а минимальное удаление при размыкании – 27,4 мм). Рассчитано, что при весе поплавка и магнита соответственно 0,11 и 0,02 Н, наружном и внутреннем диаметре поплавка соответственно 0,043 м и 0,013 м, высоте поплавка 0,03 м минимальная глубина молоколовушки, равная 28,3 мм, может быть при удалении геркона на 21,2 мм в противоположном направлении от направления всплытия поплавка, а при смещении геркона по отношению к магниту на ту же величину, но в направлении всплытия поплавка, глубина молоколовушки должна быть не менее 79,1 мм.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: манипулятор, доение, корова, датчик, молоко, поплавок, магнит.

SIMULATION OF OPERATION OF MILK FLOW FLOAT SENSORS OF A PORTABLE ADAPTIVE MANIPULATOR FOR COW MILKING

Vladimir F. Uzhik
Olga S. Kuzmina
Oksana V. Kitaeva
Yuri A. Kitaev

Belgorod State Agricultural University named after V. Gorin

The authors present the results of simulation of operation of milk flow float sensors of a portable adaptive cow milking manipulator with a controlled teat milking mode installed in a four-section milking machine collector. The objective of research was to obtain the mathematical dependences for calculating the main design parameters of milk flow sensors. When a float sensor of milk flow is used, one of the parameters associated with the depth of milk collection chambers in the sensors is the required movement of the float with a magnet that ensures the actuation of the reed switch included in the circuit for controlling the air flows, which control the milking mode. Mathematical simulation of the working process was carried out using the known laws of physics, theoretical mechanics, hydraulics, and mathematics. Changes in the vacuum mode of milking in each teat cup were performed by closing and opening the contacts of reed switches under the influence of magnetic field of magnets attached to the floats. The design of milk flow sensor uses 4×4×4 mm neodymium magnets (*NdFeB*) and group A KEM-3 reed switches (the maximum distance of the reed switch from the magnet at the moment of closing of its contacts is 21.3 mm, and the minimum distance at opening is 27.4 mm). It is calculated that if the weight of the float and magnet is 0.11 and 0.02 N, respectively; the outer and inner diameters of the float are 0.043 m and

0.013 m, respectively; the height of the float is 0.03 m, then the minimum depth of the milk trap can be equal to 28.3 mm when the reed switch is 21.2 mm apart in the opposite direction from the direction of float emersion. When the reed switch is shifted from the magnet by the same distance, but in the direction of float emersion, then the depth of the milk trap should be at least 79.1 mm.

KEYWORDS: manipulator, milking, cow, sensor, milk, float sensor, magnet.

Введение
Анализ данных опубликованных источников, касающихся результатов поиска учёными и практиками оптимальных способов доения коров, изучение опыта эксплуатации серийного доильного оборудования позволили авторам прийти к заключению, что в настоящее время на данном уровне развития науки и техники вполне возможно применение полуавтоматов доения коров при их привязном содержании со сбором молока в молокопровод [1, 2, 4, 7, 9, 10, 11, 12, 14, 16, 17, 18, 19].

Необходимость использования полуавтоматов доения коров обусловлена несколькими факторами.

Во-первых, это повышение производительности труда оператора машинного доения за счёт автоматизации заключительных операций, таких как машинный додой и снятие доильного аппарата с вымени коровы при снижении интенсивности потока молока ниже установленного значения.

Во-вторых, это обеспечение максимальной выдоенности вымени коровы, контролируемой датчиками интенсивности потока молока, исключая субъективную оценку данного параметра оператором машинного доения.

В-третьих, это безопасное воздействие на молочную железу вакуумметрического давления доения в результате его изменения в зависимости от интенсивности потока молока как в начальный момент при установке доильного аппарата на соски вымени, так и при завершении процесса доения. Причём эффективность полуавтоматов доения коров значительно повышается при использовании доильных машин, обладающих возможностью подольного управления режимом доения. К сожалению, в настоящее время такой режим доения реализован только лишь в доильных установках-роботах.

Предложения учёных и практиков по созданию конструкции доильных аппаратов с подольным управлением режимом доения по различным причинам не нашли применения в производстве, поэтому исследования, направленные на обоснование конструктивных параметров переносного полуавтомата доения коров с подольным управляемым режимом доения, представляются актуальными.

В данной статье представлены результаты этапа исследований, которые проводят учёные Белгородского государственного аграрного университета в рамках разработки комплексной тематики по созданию автоматизированных и роботизированных модулей доения коров.

Материалы и методы исследований

В качестве датчиков потока молока в современных доильных машинах, оборудованных элементами автоматизации управления режимом доения коров, применяются датчики без подвижных частей с использованием лучей инфракрасной области спектра, объёмно-весовые датчики, поплавковые датчики и др.

Авторами разработана конструкция переносного манипулятора доения коров с подольным управляемым режимом доения, в которой применяется поплавковый датчик потока молока [13]. Так как в предложенной конструкции датчик расположен в четырёхсекционном коллекторе переносного манипулятора, то оптимизация его габаритных размеров представляет определённое практическое значение. Учитывая вышеизложенное, с целью обоснования основных конструктивных параметров используемых датчиков авторы провели математическое моделирование рабочего процесса поплавковых датчиков потока молока переносного адаптивного манипулятора доения коров с подольным управляемым режимом доения, выполненных в четырёхсекционном коллекторе доильного аппарата.

При моделировании рабочего процесса поплавковых датчиков использовали известные законы физики, теоретической механики, гидравлики и математики.

Математические вычисления, графические построения и анализ материалов исследований осуществляли с использованием программы Excel [3].

Результаты и их обсуждение

Переносной адаптивный манипулятор для доения коров работает следующим образом (рис. 1).

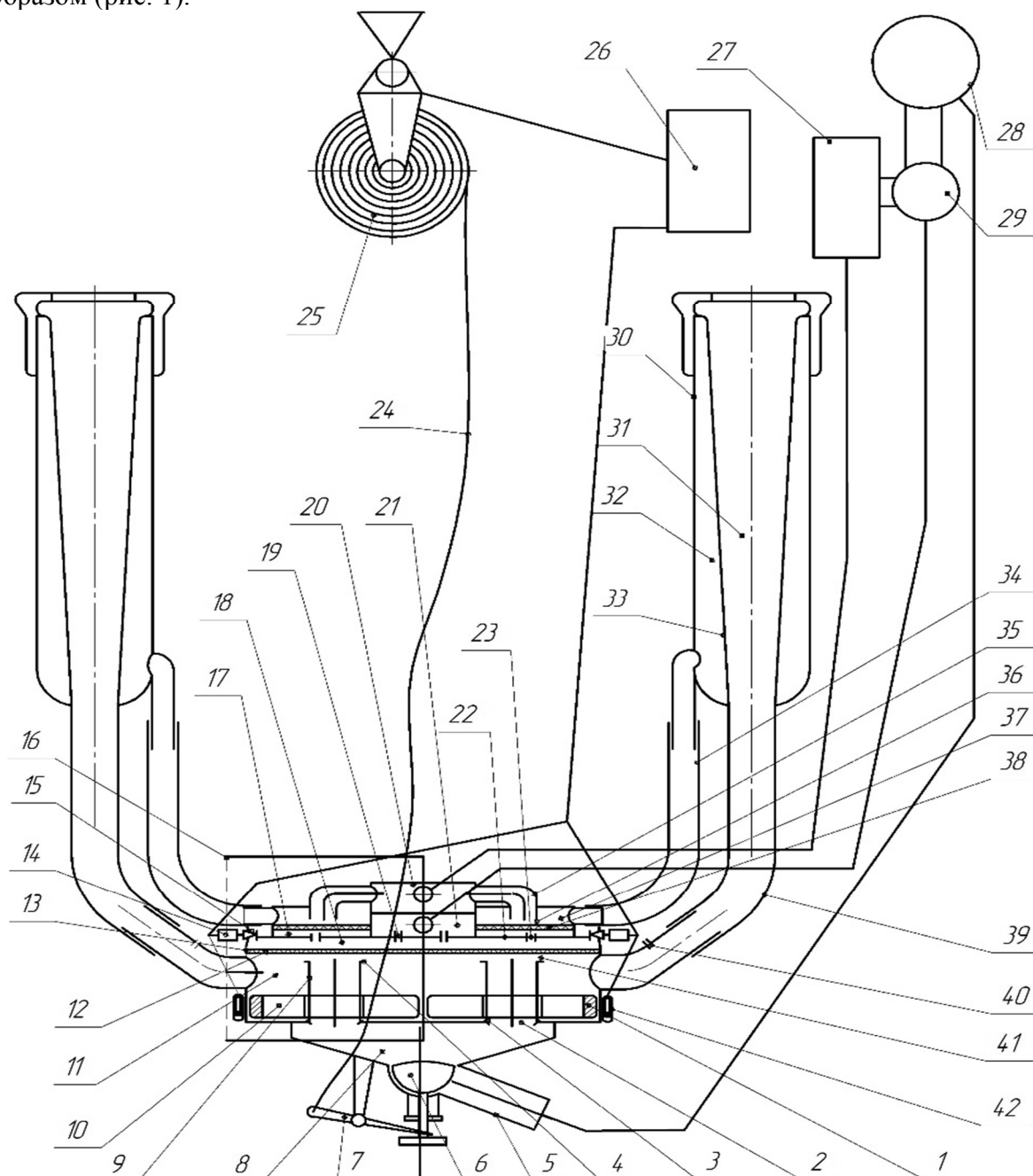


Рис. 1. Переносной адаптивный манипулятор для доения коров с подольным управляемым режимом доения: 1 – магнит; 2 – отверстие; 3 – выемка; 4 – буртик; 5 – патрубок; 6 – клапан; 7 – рычаг; 8 – молокоприёмная камера; 9 – подвижной патрубков; 10 – поплавок; 11 – камера; 12 – мембрана; 13 – коллектор; 14 – электроклапан; 15 – канал; 16 – секция; 17 и 18 – камеры управления; 19 – канал; 20, 21 – камеры; 22 – перегородка; 23 – калиброванный канал; 24 – трос; 25 – барабан пружинного механизма; 26 – блок управления; 27 – пульсатор; 28 – молокопровод; 29 – вакуумная магистраль; 30 – доильный стакан; 31 – подсосовая камера; 32 – межстенная камера; 33 – сосковая резина; 34 и 35 – патрубки; 36 – щель; 38 – мембрана; 39 – патрубок; 40 – канал; 41 – щель; 42 – геркон

Доильный аппарат устанавливают на вымя коровы. Для этого включают блок управления 26 и, увлекая трос 24, вращают барабан пружинного механизма 25, тем самым взводя пружину и освобождая доильный аппарат. При этом фиксатором предотвращают обратное вращение барабана. Доильные стаканы 30 подводят под вымя коровы (на схеме не показано) и открывают клапан 6. При этом вакуумметрическое давление поступает в молокоприёмную камеру 8 и далее через отверстие 2, подвижной патрубков 9 и калиброванную щель 41 – в камеру 11 рабочего вакуумметрического давления. Так как из молокопровода 28 поступает номинальное вакуумметрическое давление, например 48 кПа, а вакуумметрическое давление в камере управления 18 пониженное (33 кПа), то мембрана 12, прогибаясь вниз под воздействием перепада давлений, уменьшает калиброванную щель 41, тем самым ограничивая откачку воздуха из камеры 11 рабочего вакуумметрического давления, что обеспечивает установление в ней пониженного вакуумметрического давления, которое по патрубку 39 поступает в подсосковую камеру 31 доильного стакана 30. Доильные стаканы надевают на соски вымени и осуществляют доение в стимулирующем режиме.

Молоко из подсосковой камеры 31 каждого доильного стакана поступает в камеру 11 рабочего вакуумметрического давления и далее при интенсивности потока молока ниже 50 мл/мин, стекает через калиброванный канал, образуемый выемкой 3 в нижнем обрезе подвижного патрубка 9 и посадочным гнездом отверстия 2, в молокоприёмную камеру 8 коллектора 13 и далее через патрубок 5 – в молокопровод 28. При этом поступающий через калиброванный канал 40 в патрубок 39 атмосферный воздух способствует активному движению молока и стабилизации заданного вакуумметрического давления в подсосковой камере 31 доильного стакана 30.

При увеличении потока молока в каком-либо доильном стакане 30 происходит его накопление в камере 11 рабочего вакуумметрического давления соответствующей ему секции 6, что приводит к всплытию поплавка 10 и удалению установленного в нём магнита 1 из зоны взаимодействия с герконом 42, что приводит к его срабатыванию и, как следствие, срабатыванию по команде блока управления 26 электроклапана 14, который перекрывает доступ атмосферного воздуха через калиброванный канал 15 в камеру управления 18. Вакуумметрическое давление в камере управления 18, а также в камере управления 17 повышается до номинального (48 кПа), мембраны 12 и 38 выравниваются, вакуумметрическое давление в камере 11 рабочего вакуумметрического давления, в камере 37 регулируемого вакуумметрического давления, в подсосковой камере 31 и межстенной камере 32 доильного стакана 30 повышается до номинального. При этом при накоплении молока в камере 11 рабочего вакуумметрического давления его перетекание в молокоприёмную камеру 8 происходит через верхний обрез подвижного патрубка 9, а также через щель, образуемую нижним обрезом подвижного патрубка 9 и посадочным гнездом отверстия 2 при воздействии всплываемого поплавка 10 на буртик 4 подвижного патрубка 9 и его перемещения вверх. Таким образом осуществляют доение в номинальном режиме.

При последующем снижении интенсивности потока молока поплавков 10 меняет своё положение, опускаясь вниз, и перемещает магнит 1 в зону взаимодействия его магнитного поля с герконом 42. Происходит обратное переключение на стимулирующий режим работы. Такое переключение выполняется по каждому соску в отдельности, что обеспечивает оптимальный режим доения. При снижении интенсивности потока молока во всех секциях 16 коллектора 13 блоком управления 26 расфиксируют барабан 25. При этом трос 24, наматываясь на барабан 25, воздействует на рычаг 7 и перекрывает клапаном 6 патрубок 5, тем самым отключая доильный аппарат от молокопровода 28. Доильный аппарат снимают с вымени коровы, доение завершено.

При использовании поплавкового датчика потока молока одним из параметров, с которым связана глубина молокоприёмных камер датчиков, является требуемое перемещение поплавка с магнитом, при котором обеспечивается срабатывание геркона, включённого в цепь управления коммутацией воздушных потоков управления режимом доения.

Как известно, изменение вакуумного режима доения в каждом доильном стакане осуществляется в результате замыкания – размыкания контактов герконов под воздействием магнитного поля магнитов, прикреплённых к поплавкам (рис. 2).

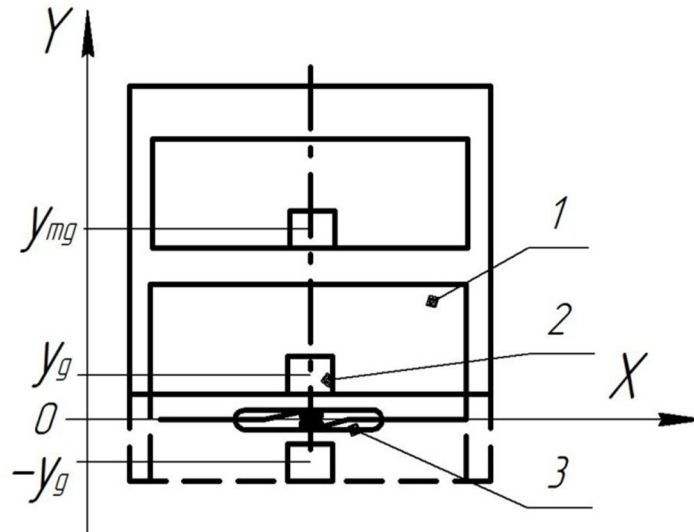


Рис. 2. К определению перемещения поплавка: 1 – поплавок; 2 – магнит; 3 – геркон

Каждый геркон, в зависимости от его назначения, габаритных размеров, режимов работы, обладает своей чувствительностью, которая характеризуется магнитодвижущей силой срабатывания геркона (замыкания, размыкания или коммутации цепи в зависимости от конструкции), магнитодвижущей силой, при которой геркон возвращается в исходное состояние (холостой режим), и гистерезисом. Гистерезис характеризует интервал варьирования зоны удержания геркона в рабочем режиме по мере удаления источника магнитного поля с точки срабатывания в точку возвращения геркона в исходное состояние. Выражается этот показатель в процентном соотношении магнитодвижущей силы в момент срабатывания геркона к магнитодвижущей силе в момент перехода геркона в холостой режим.

Из ранее опубликованных работ [8, 15] известно, что напряжённость H магнитного поля по мере удаления от постоянного магнита уменьшается, и характер её изменения зависит от формы источника магнитного поля. Для магнита прямоугольной формы эта зависимость имеет вид

$$H = \frac{B_r}{\mu_0 \pi} \left[\operatorname{arctg} \frac{AB}{2a\sqrt{4a^2 + A^2 + B^2}} - \operatorname{arctg} \frac{AB}{2(C+a)\sqrt{4(C+a)^2 + A^2 + B^2}} \right], \quad (1)$$

где B_r – остаточная индукция магнита, Тл;

A, B, C – стороны магнита, м;

μ_0 – магнитная постоянная, $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ Гн/м;

a – удаление точки определения напряжённости магнитного поля от плоскости магнита, образованной сторонами A и B , м.

Как следует из описания работы предложенного переносного манипулятора, при нижнем положении поплавка 1 (рис. 2) геркон 3 находится в магнитном поле магнита 2, магнитодвижущая сила которого равна или больше магнитодвижущей силы замыкания его контактов $F_{зам}$. В таком случае в доильном стакане устанавливается стимулирующий режим доения.

Для переключения доильного стакана в номинальный режим доения необходимо, чтобы при всплытии поплавка в результате увеличения интенсивности потока молока выше установленного значения (например, 50 мл/мин) и его накопления в молоколовушке перемещение поплавка y_{mg} в вертикальной плоскости относительно геркона 3 вдоль оси Y Декартовой системы координат, начало которой расположено на горизонтальной линии, проходящей через центр его симметрии, осуществлялось тогда, когда магнитодвижущая сила магнита в зоне геркона уменьшилась и стала ниже магнитодвижущей силы перехода геркона в исходное состояние.

Определить данное перемещение можно, воспользовавшись уравнением (1), вначале установив закономерность изменения напряжённости магнитного поля на герконе в зависимости от a – удаления точки определения напряжённости магнитного поля от плоскости магнита.

В нашем случае (вариант на рис. 2) мы можем записать, что

$$a = y_{mg}. \quad (2)$$

Так как магнитодвижущая сила F (МДС) связана с напряжённостью магнитного поля в этой же точке, определяемой выражением

$$F = aH, \quad (3)$$

то с учётом уравнения (1) мы можем записать равенство для определения характера зависимости магнитодвижущей силы на герконе от удаления от него магнита

$$F = \frac{aB_r}{\mu_0\pi} \left[\operatorname{arctg} \frac{AB}{2a\sqrt{4a^2 + A^2 + B^2}} - \operatorname{arctg} \frac{AB}{2(C+a)\sqrt{4(C+a)^2 + A^2 + B^2}} \right]. \quad (4)$$

Герконы обладают гистерезисом, поэтому магнитодвижущая сила замыкания $F_{зам}$ и магнитодвижущая сила размыкания $F_{раз}$ контактов герконов не равны между собой.

В таком случае, решив уравнение (4) относительно a и подставив в него значение магнитодвижущей силы замыкания геркона $F_{зам}$, взятое из его характеристики, мы можем определить максимально допустимое удаление a_{zmax} точки крепления геркона к корпусу молоколовушки от магнита при нижнем положении поплавка (рис. 2).

С учётом коэффициента надёжности замыкания контактов геркона мы можем записать

$$|\pm y_g| = k_z a_{zmax}, \quad (5)$$

где y_g – максимально допустимое удаление a_{zmax} точки крепления геркона к корпусу молоколовушки от магнита при нижнем положении поплавка с учётом коэффициента надёжности замыкания контактов геркона, m ;

k_z – коэффициент надёжности замыкания контактов геркона, $k_z < 1$.

Подставив в уравнение (4) значение магнитодвижущей силы $F_{раз}$ размыкания контактов геркона, взятое из его характеристики, мы можем определить минимально допустимое удаление a_{rmin} от геркона магнита при всплытии поплавка (рис. 2).

С учётом коэффициента надёжности размыкания контактов геркона, мы можем записать

$$y_{mg} = k_r a_{rmin}, \quad (6)$$

где k_r – коэффициент надёжности размыкания контактов геркона, $k_r > 1$.

Из этого следует, что перемещение поплавка в результате всплытия, при котором обеспечивается замыкание контактов геркона и включение номинального режима доения данного соска коровы, составляет

$$\Delta y = y_{mg} - y_f, \quad (7)$$

где Δy – перемещение поплавка в результате всплытия, при котором обеспечивается замыкание контактов геркона, м;

y_f – фактическое положение точки крепления геркона на корпусе молоколовушки, выбранное из конструктивных соображений, м.

При выборе местоположения геркона должно выполняться следующее условие:

$$-y_g < y_f < +y_g. \quad (8)$$

Для проведения теоретических исследований уравнения (1) сделаем допущения по конструктивным параметрам составных частей: используем характеристики неодимового магнита (Неодим-железо-бор – $NdFeB$) размером $4 \times 4 \times 4$ мм.

При перемещении магнита с точки начального удаления от геркона 2 мм в точку удаления 30 мм напряжённость магнитного поля на герконе уменьшается с 515,35 до 1,19 кА/м (расчётные данные). Выполнить расчёты по установлению положения геркона относительно магнита при нижнем положении поплавка, а также по перемещению магнита при всплытии поплавка с использованием уравнения (8) не представляется возможным, так как оно в развёрнутом виде достаточно громоздко и имеет сложную структуру. Поэтому выполним его теоретическое исследование с последующим установлением по расчётным таблицам интервала варьирования магнитодвижущей силы в зависимости от расстояния.

Как свидетельствуют данные таблицы 1, при перемещении магнита с точки начального удаления от геркона 2 мм в точку удаления 30 мм магнитодвижущая сила на герконе уменьшается с 1030,7 до 35,6 А.

Таблица 1. Результаты исследований магнитодвижущей силы на герконе в зависимости от удаления магнита

a, мм	2	6	10	14	18	22	26	30
F, А	1030,7	450,5	224,7	133,0	87,5	61,9	46,1	35,6

В качестве исполнительного механизма использовали геркон КЭМ-3 группы А типа *SPST-NO* (*Single Pole, Single Throw Normally Open*, то есть «один полюс, один канал») – обычный выключатель, в котором два контакта нормально разомкнуты, МДС срабатывания составляет 42–66 А.

Максимально допустимое удаление геркона от магнита в момент замыкания его контактов составляет 21,3 мм, а минимально допустимое удаление при размыкании – 27,4 мм (расчёт по данным табл. 1).

Высота поплавка оговаривается следующим уравнением [5, 6]:

$$h_{pr} = \frac{4k_p (F_p + F_m + F_{pp})}{\pi\gamma(D_p^2 - d_p^2)}, \quad (9)$$

где h_{pr} – практическая высота поплавка, м;

k_p – коэффициент запаса высоты поплавка;

F_p – вес поплавка, Н;

F_m – вес магнита, Н;

F_{pp} – вес подвижного патрубка, Н;

γ – удельный вес молока, Н/м³;

D_p – наружный диаметр поплавка, м;

d_p – диаметр отверстия поплавка, м.

По уравнению (9) мы можем определить минимально допустимую глубину молокоприёмной камеры молоколовушки

$$h_{mol} = \Delta y + h_{pr}, \quad (10)$$

где h_{mol} – минимально допустимая глубина молокоприёмной камеры молоколовушки, м.

С учётом уравнений (6), (7), (8), (9) и (10), а также коэффициента запаса глубины мы можем определить оптимальную глубину молокоприёмной камеры молоколовушки

$$h_{opt} = k_{opt} \left(\frac{4k_p (F_p + F_m + F_{pp})}{\pi \gamma (D_p^2 - d_p^2)} + k_r a_{r \min} - y_f \right), \quad (11)$$

где h_{opt} – оптимальная глубина молокоприёмной камеры молоколовушки, м;
 k_{opt} – коэффициент запаса глубины молоколовушки, $k_{opt} > 1$.

Подставив в уравнение (11) значения коэффициентов k_{opt} и k_r ($k_{opt} = 1,2$; $k_r = 1,2$), взяв из уравнения (5) значение коэффициента надёжности замыкания контактов геркона k_z ($k_z = 0,8$), из уравнения (9) – ограничения коэффициента запаса высоты поплавок k_p , а из таблицы 2 – значения конструктивных параметров поплавок, варьируя положением геркона y_f относительно магнита при нижнем положении поплавок в интервале от $-21,3$ мм до $+21,3$ мм, мы можем рассчитать интервал изменения глубины молоколовушки. Результаты расчёта приведены в таблице 3.

Таблица 2. Конструктивные параметры элементов датчика потока молока

Параметр	Значение
Вес поплавок, Н	0,11
Вес магнита, Н	0,02
Вес подвижного патрубка, Н	0,02
Диаметр поплавок наружный, м	0,043
Диаметр поплавок внутренний, м	0,013
Высота поплавок, м	0,03
Диаметр патрубка наружный, м	0,012
Диаметр патрубка внутренний, м	0,008
Удельный вес молока, Н/м ³	10000

Таблица 3. Результаты расчёта варьирования глубины молоколовушки в зависимости от положения магнита относительно геркона

y_f , мм	-21,2	-15,9	-10,6	-5,3	0	5,3	10,6	15,9	21,2
h_{opt} , мм	79,1	72,8	66,4	60,1	53,7	47,3	41,0	34,6	28,3

Как следует из полученных данных, минимально допустимая глубина молоколовушки, равная 28,3 мм, может быть при удалении геркона в противоположном направлении от направления всплытия поплавок – 21,2 мм, в то же время при смещении геркона по отношению к магниту на ту же величину, но в направлении всплытия поплавок, глубина молоколовушки должна быть не менее 79,1 мм.

Полученные результаты расчётов основных конструктивных параметров датчиков потока молока были использованы при изготовлении экспериментального образца доильного аппарата (рис. 3).



Рис. 3. Экспериментальный образец доильного аппарата

Выводы

Изменение вакуумного режима доения в каждом доильном стакане осуществляется в результате замыкания – размыкания контактов герконов под воздействием магнитного поля магнитов, прикреплённых к поплавкам.

При использовании в конструкции датчика потока молока неодимовых магнитов размером $4 \times 4 \times 4$ мм и герконов КЭМ-3 группы А типа *SPST-NO* максимально допустимое удаление геркона от магнита в момент замыкания его контактов составляет 21,3 мм, а минимально допустимое удаление при размыкании – 27,4 мм.

Интервал варьирования глубины молоколовушки устанавливается путём изменения положения геркона относительно магнита при нижнем положении поплавка в интервале от $-21,3$ мм до $+21,3$ мм. Так, при весе поплавка и магнита соответственно 0,11 и 0,02 Н, наружном и внутреннем диаметре поплавка соответственно 0,043 м и 0,013 м, высоте поплавка 0,03 м минимальная глубина молоколовушки, равная 28,3 мм, может быть при удалении геркона на 21,2 мм в противоположном направлении от направления всплытия поплавка, а при смещении геркона по отношению к магниту на ту же величину, но в направлении всплытия поплавка, глубина молоколовушки должна быть не менее 79,1 мм.

Библиографический список

1. Андрианов Е.А. Исследование устройства для управления режимом работы стимулирующе-адаптивного доильного аппарата / Е.А. Андрианов, А.М. Андрианов, А.А. Андрианов // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. – 2014. – № 3. – С. 123–129.
2. Бородин С.А. Обоснование параметров блока управления режимом доения / С.А. Бородин, Е.А. Андрианов, А.А. Андрианов // Сельский механизатор. – 2018. – № 9. – С. 30–31.
3. Вадзинский Р.Н. Статистические вычисления в среде Excel / Р.Н. Вадзинский. – Москва : Питер, 2008. – 602 с.
4. Исследования доильного аппарата с пульсоотключателем / В.М. Ульянов, В.А. Хрипин, С.Е. Крыгин и др. // Вестник аграрной науки Дона. – 2019. – № 2 (46). – С. 88–97.
5. К обоснованию параметров молоколовушки манипулятора для доения коров / В.Ф. Ужик, О.С. Кузьмина, О.В. Китаёва, А.И. Тетерядченко // Техника и оборудование для села. – 2020. – № 1. – С. 28–35.
6. К обоснованию параметров молоколовушки переносного манипулятора доения коров с поворотным управлением режимом доения / В.Ф. Ужик, О.С. Кузьмина, О.В. Китаёва, А.И. Тетерядченко // Инновации в АПК: проблемы и перспективы. – 2019. – № 4 (24). – С. 89–108.

7. Кирсанов В.В. Направления совершенствования исполнительных механизмов доильных установок / В.В. Кирсанов, К.С. Шукин, В.Н. Легеза // Достижения науки и техники АПК. – 2010. – № 1. – С. 64–65.
8. Ландау Л.Д. Теоретическая физика : учеб. пособие. В 10 т. / Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц. Т. II. Теория поля. – 7-е изд., испр. – Москва : Наука, 1988. – 512 с.
9. Мартынов Е.А. Исследование адаптивного переносного манипулятора для доения коров / Е.А. Мартынов, О.А. Чехунов // Техника и оборудование для села. – 2019. – № 11. – С. 26–30.
10. Модернизация типоразмерного ряда доильных установок на основе автоматизированных и роботизированных модулей почетвертного доения / В.В. Кирсанов, Ю.А. Цой, Л.П. Кормановский и др. // Вестник Всероссийского научно-исследовательского института механизации животноводства. – 2019. – № 3 (35). – С. 20–24.
11. 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.
12. Обоснование параметров переключающего устройства магнитного клапана многофункционального доильного аппарата / Е.А. Андрианов, В.П. Шацкий, А.А. Андрианов, Т.Н. Тertyчная // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. – 2019. – Т. 12, № 1 (60). – С. 108–115.
13. Пат. 2695868 Российская Федерация, МПК А01J 7/00 (2006.01). Переносной манипулятор для доения коров / В.Ф. Ужик, О.С. Кузьмина, О.В. Китаёва ; заявитель ФГБОУ ВО Белгородский ГАУ. – № 2019108170 ; заявл. 06.11.2018 ; опублик. 29.07.2019, Бюл. № 22. – 5 с.
14. Разработка адаптивной системы регулирования пространства в станке доильного робота / Е.А. Никитин, С.С. Юрочка, Ф.Е. Владимиров и др. // Инновации в сельском хозяйстве. – 2019. – № 3 (32). – С. 233–238.
15. Сила магнитного поля постоянного магнита [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://ru.magnet-sdm.com/2017/08/01/> (дата обращения: 10.02.2020).
16. Техничко-технологические решения роботизированной станочной доильной установки с почетвертным управлением процессом доения / В.В. Кирсанов, Ю.А. Цой, Л.П. Кормановский и др. // Инновации в сельском хозяйстве. – 2018. – № 1 (26). – С. 229–235.
17. Ужик В.Ф. Обоснование параметров поплавка датчика потока молока переносного манипулятора для доения коров / В.Ф. Ужик, О.С. Кузьмина, О.В. Китаёва // Агроинженерия в XXI веке: проблемы и перспективы : матер. Национальной (Всероссийской) науч.-практ. конф. с международным участием, посвященной 30-летию инженерного факультета им. А.Ф. Пономарева (Россия, Белгородская обл., п. Майский, 28 октября 2019 г.). – п. Майский : ФГБОУ ВО Белгородский ГАУ, 2020. – С. 232–237.
18. Ульянов В.М. Конструкция и эксплуатация доильных аппаратов : монография / В.М. Ульянов. – Рязань : РГАТУ, 2012. – 112 с.
19. Цой Ю.А. Состояние и тенденции развития роботизированного оборудования для доения коров / Ю.А. Цой, Н.П. Мишуров // Техника и оборудование для села. – 2019. – № 5 (263). – С. 2–9.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ Принадлежность к организации

Владимир Фёдорович Ужик – доктор технических наук, профессор кафедры машин и оборудования в агробизнесе ФГБОУ ВО «Белгородский государственный аграрный университет имени В.Я. Горина», Россия, Белгородская обл., Белгородский район, п. Майский, e-mail: uzhik16@rambler.ru.

Ольга Сергеевна Кузьмина – преподаватель кафедры землеустройства, ландшафтной архитектуры и плодородства ФГБОУ ВО «Белгородский государственный аграрный университет имени В.Я. Горина», Россия, Белгородская область, Белгородский район, п. Майский, e-mail: osk9592@mail.ru.

Оксана Владимировна Китаёва – доктор технических наук, доцент кафедры электрооборудования и электротехнологий в АПК ФГБОУ ВО «Белгородский государственный аграрный университет имени В.Я. Горина», Россия, Белгородская область, Белгородский район, п. Майский, e-mail: oksanauzhik@mail.ru.

Юрий Александрович Китаёв – кандидат экономических наук, доцент кафедры экономической теории и экономики АПК ФГБОУ ВО «Белгородский государственный аграрный университет им. В.Я. Горина», Россия, Белгородская область, Белгородский район, п. Майский, e-mail: yur-genk@inbox.ru.

Дата поступления в редакцию 18.05.2020

Дата принятия к печати 23.06.2020

AUTHOR CREDENTIALS Affiliations

Vladimir F. Uzhik, Doctor of Engineering Sciences, Professor, the Dept. of Machinery and Equipment in Agribusiness, Belgorod State Agricultural University named after V. Gorin, Russia, Belgorod Oblast, Belgorod District, Mayskiy, e-mail: uzhik16@rambler.ru.

Olga S. Kuzmina, Lecturer, the Dept. of Land Management, Landscape Architecture and Fruit Growing, Belgorod State Agricultural University named after V. Gorin, Russia, Belgorod Oblast, Belgorod District, Mayskiy, e-mail: osk9592@mail.ru.

Oksana V. Kitaeva, Doctor of Engineering Sciences, Docent, the Dept. of Electrical Equipment and Electrical Engineering in Agriculture, Russia, Belgorod Oblast, Belgorod District, Mayskiy, e-mail: oksanauzhik@mail.ru.

Yuri A. Kitaev, Candidate of Economic Sciences, Docent, the Dept. of Economic Theory and Economics of the Agro-Industrial Complex, Russia, Belgorod Oblast, Belgorod District, Mayskiy, e-mail: yurgenk@inbox.ru.

Received May 18, 2020

Accepted after revision June 23, 2020