

ТЕХНОЛОГИИ И СРЕДСТВА МЕХАНИЗАЦИИ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА

УДК 338.436:636.2.034.003.13 (470.325)

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПНЕВМОСИСТЕМЫ УСТРОЙСТВ ДЛЯ МАССАЖА ВЫМЕНИ НЕТЕЛЕЙ ДВУХКАМЕРНОГО ТИПА

А. А. Курочкин

В работе представлены результаты математического моделирования пневмосистемы устройств для комбинированного массажа вымени нетелей двухкамерного типа. На первой стадии теоретических исследований рассматривается математическая модель процесса истечения воздуха из камеры с постоянным объемом через отверстие с неизменным диаметром. Более сложное в конструктивном плане устройство для массажа вымени нетелей содержит силовую пневмокамеру с изменяющимся объемом, которая может быть выполнена заодно или раздельно с массажным колоколом и соединяться периодически или на постоянной основе с помощью одного или нескольких калиброванных отверстий. В этом случае устройство выполняется в виде двухкамерной конструкции, описываемой с помощью более сложной математической модели. Таким образом, принципиальным подходом к моделированию пневмосистемы устройств для массажа вымени нетелей двухкамерного типа является разработка математического аппарата, позволяющего проводить теоретические исследования работы относительно простых в конструктивном плане устройств и на основе синтеза полученных зависимостей моделировать работу более сложных конструкций массажных устройств.

Ключевые слова: нетели, молочная железа, комбинированный массаж, силовая пневмокамера, массажный колокол, вакуум, давление.

Введение

Одним из наиболее эффективных технологических приемов повышения продуктивности коров-первотелок является подготовка нетелей к лактации в период их стельности, которая предусматривает массаж молочной железы и приучение животных к доильному оборудованию [2, 6, 16].

Многочисленными исследованиями различных по принципу действия и конструктивным параметрам технических средств для подготовки животных к лактации установлено их существенное влияние на последующую молочную продуктивность. При этом наибольшее распространение в силу целого ряда причин, получили установки с пневматическим или пневмомеханическим способом воздействием на молочную железу животных [1, 8-10].

Например, однокамерная конструкция установки для пневмомассажа вымени нетелей (УПВН), разработанная, а затем модернизированная Жужей С.В., была принята за основу в серийно выпускающемся агрегате для пневмомассажа вымени нетелей АПМ-1-Ф. В усовершенствованном виде УПВН представляет собой массажный колокол с расположенной в нем подпружиненной пластиной

с деформаторами и оснащенным патрубком для подвода переменного вакуума от пульсатора, дросселем и дренажным отверстием.

Подпружиненная пластина с деформаторами является рабочим органом пассивного типа и предназначена для механического воздействия (массажа) на молочную железу нетели.

Дроссель служит для уменьшения величины переменного давления до необходимого значения. Дренажное отверстие сообщает полость массажного колокола с атмосферой и обеспечивает остаточное пониженное давление (вакуум) в момент подключения устройства к работе [1].

Теоретический анализ конструктивно-технологической схемы УПВН и опыт эксплуатации агрегата АПМ-1-Ф показали, что на эффективность их работы наибольшее влияние оказывают объем вымени нетели, рабочая частота пульсатора, диаметры дросселя и дренажного отверстия, а также время перекрытия дренажного отверстия в процессе установки колокола на молочную железу нетели [2, 7].

Дальнейшие исследования УПВН показали, что актуальные направления ее совершенствования связано с увеличением амплитуды изменения давления в массажном колоколе в тактах «массаж» и

«разгрузка»; отказ от остаточного вакуума для удержания на вымени устройства во время такта «разгрузка»; повышение интенсивности механической составляющей массажного воздействия на молочную железу животного путем применения рабочего органа активного типа.

В конструктивном плане это привело к разработке устройств для комбинированного массажа вымени нетелей, в которых механическая составляющая воздействия на молочную железу предназначена для улучшения ее морфологических показателей, в то время как необходимые физиологические свойства молокоотдачи животного формируются под воздействием пневматического массажа [7].

Комбинированный массаж реализуется, как правило, с помощью аппаратов, состоящих из массажного кожуха и рабочего органа активного или пассивного типов. При этом в конструктивном плане они классифицируются как однокамерные и многокамерные [14].

Массажные устройства однокамерного типа не получили в производстве широкого применения в силу следующих причин. Обычно подготовку нетелей к лактации рекомендуют начинать за 2-3 месяца до отела, и завершать в зависимости от физиологического состояния молочной железы животных, но не позднее чем за 7-10 дней до отела. При такой технологии на протяжении почти двух месяцев массажное устройство работает в одном, стандартном режиме. Между тем, у животных за этот период жизни происходят весьма радикальные изменения морфологических и физико-механических свойств молочной железы. Наряду с увеличением массы молочной железы изменяются ее упругость, а также интенсивность кровообращения и лимфотока.

С этой точки зрения пневмомассаж, вызывающий переменную гиперемии – активный приток и отток крови в тканях вымени, может быть полезен лишь на определенном этапе роста и развития молочной железы. В поздней стадии стельности животного такой массаж может вызвать выделение секрета из сосков, а также ухудшить отток межтканевой жидкости, что приводит к отеку вымени и его болезни. В этот период для животного гораздо полезней будет механический массаж вымени.

На основании этого был сделан вывод о том, что устройство для массажа вымени нетелей должно иметь несколько режимов работы, соответствующих физиологическому состоянию животного в каждый конкретный период его подготовки [5, 6].

Основными характеристиками комбинированного массажа являются амплитуда и скорость изменения давления в массажном кожухе, а также взаимосвязанные с ними параметры рабочего органа, осуществляющего механический массаж. В связи с этим одной из задач теоретических исследований устройств для комбинированного массажа вымени нетелей является описание пневмосистемы массажного колокола, для чего весьма удобны и применимы методы математического моделирования.

Обычно на первой стадии таких исследований анализируется простейший вариант истечения воздуха из камеры с постоянным объемом через отверстие с неизменным диаметром. Такая, обычно не сложная математическая модель, довольно точно описывает работу однокамерных массажных устройств.

Более сложное в конструктивном плане устройство для массажа вымени нетелей содержит силовую пневмокамеру с изменяющимся объемом, которая может быть выполнена заодно или отдельно с массажным колоколом и соединяться периодически или на постоянной основе с помощью одного или нескольких калиброванных отверстий. В этом случае устройство выполняется в виде двухкамерной конструкции и ее математическая модель значительно усложняется.

Целью работы является анализ пневмосистемы двухкамерного устройства для комбинированного массажа вымени нетелей методами математического моделирования.

Объекты и методы исследований

Объект исследования – устройство для пневмомеханического массажа вымени нетелей. Методы исследований основаны на применении аппарата математического моделирования в отношении известных законов классической гидромеханики и термодинамики.

Результаты и их обсуждение

Устройство для подготовки нетелей к лактации, позволяющее осуществлять раздельное регулирование интенсивности механического и пневматического массажа, выполнено в виде двухкамерной конструкции и состоит из массажного колокола 1 (рис. 1), изготовленного в виде

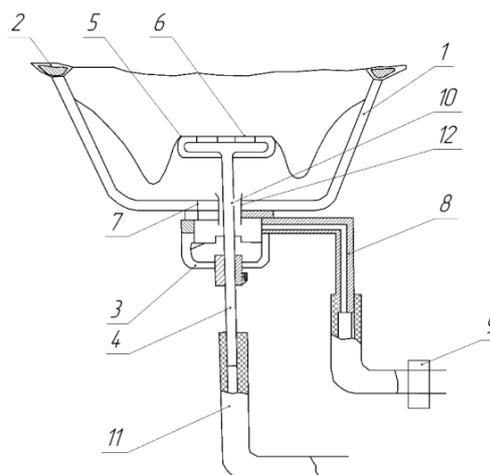


Рис. 1. Схема устройства для массажа вымени животных двухкамерного типа: 1 – массажный колокол; 2 – уплотняющий элемент; 3 – силовая пневмокамера; 4 – шток; 5 – присосок; 6 – перфорированная крышка; 7, 10 – калиброванные отверстия; 8 – патрубок; 9 – пульсатор; 11 – шланг; 12 – направляющая

полусферы с уплотняющим элементом 2, силовой пневмокамеры 3 и активного рабочего органа, служащего для осуществления механического массажа.

Силовая пневмокамера 3 с помощью отверстия 7 соединяется с внутренним пространством колокола, а также посредством патрубка 8 – с пульсатором 9.

Активный рабочий орган выполнен в виде присоски с перфорированной крышкой 6, жестко связанного с подпружиненным полым штоком 4. Шток имеет калиброванное отверстие 10 и с помощью шланга 11 соединяется с источником постоянного вакуума.

Рабочий процесс массажного устройства осуществляется следующим образом. Устройство вместе с колоколом и активным рабочим органом плотно прижимаются к вымени животного. За счет полого штока 4 в присоске 5 образуется давление ниже атмосферного (вакуум), которое посредством перфорированной крышки 6 воздействует на вымя животного. В этот момент массажное устройство удерживается на вымени животного за счет пониженного давления в присоске 5.

Пульсатор 9 преобразует постоянное по величине давление общей вакуумной системы в переменное и соединен посредством патрубка 8 с силовой пневмокамерой 3. Когда в патрубке давление ниже атмосферного, шток 4 под действием деформированной силовой пневмокамеры 3 занимает верхнее положение. Активный рабочий орган в этот период работы устройства осуществляет механический массаж молочной железы нетели.

В этом положении штока воздух откачивается из массажного колокола не только через отверстие 7, но и посредством калиброванного отверстия 10. При этом в полости колокола создается пониженное давление и за счет этого осуществляется пневматический массаж молочной железы нетели.

В связи с тем, что в полый шток через отверстие 10 из массажного колокола поступает воздух, давление в присоске увеличивается по сравнению с первоначальным его значением, и в этой части вымени восстанавливается нормальное кровообращение.

Конструкция массажного устройства позволяет ему работать в двух режимах. Первый из них, при котором более интенсивное воздействие на вымя осуществляет пневматическая составляющая, реализуется при полностью открытом отверстии 7. Этот режим считается основным.

Во втором режиме отверстие 7 прикрывается специальной заслонкой, за счет чего в массажном колоколе обеспечивается более высокое давление. Объясняется это тем, что в этот период работы устройства воздух из колокола отсасывается в основном через калиброванное отверстие 10, имеющее в сравнении с отверстием 7 меньшее сечение. При этом давление в силовой пневмокамере в процессе реализации второго режима работы

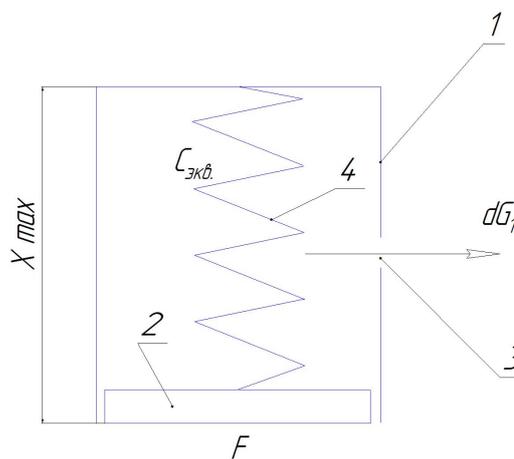


Рис. 2. Расчетная схема массажного колокола с переменным объемом: 1 – цилиндр; 2 – поршень; 3 – отверстие; 4 – пружина

устройства будет ниже, а значит, интенсивность механической составляющей будет выше, чем при первом режиме.

Получение математической модели данного двухкамерного массажного устройства основано на реализации двухэтапного алгоритма.

На первом этапе целесообразно рассмотреть упрощенную схему в виде массажного колокола с переменным объемом, из полости которого отсасывается воздух через отверстие с постоянным сечением (рис. 2).

При выводе расчетных уравнений примем допущение о том, что в процессе работы массажного устройства сопротивление, оказываемое перемещению силовой камеры (упругость стенок самой камеры и тканей вымени), подчиняется закону Гука, а суммарное ее воздействие заменяется пружиной с жесткостью $C_{экв}$. В дальнейшем, при необходимости, эта характеристика силовой камеры может быть достаточно просто определена экспериментально.

В расчетной схеме закон перемещения поршня 2 однозначно определяется изменением величины давления воздуха в цилиндре (силовой камере устройства).

При подключении к устройству пульсатора, в его работе можно выделить две фазы. Первая – отсасывание воздуха из массажного колокола и силовой камеры через отверстие 3 влечет за собой перемещение поршня 2 вверх с одновременным уменьшением объема цилиндра 1.

Во второй фазе, когда в массажный колокол и камеру впускается воздух, объем цилиндра увеличивается и поршень перемещается вниз.

В процессе работы массажного устройства скорость изменения давления, а значит и ускорение при перемещении поршня, относительно не велико, в связи с чем динамическими силами в расчетах можно пренебречь и процесс можно рассматривать как квазистатический.

Уравнение равновесия поршня при перемещении его на расстояние от χ до χ_{\max} можно пред-

ставить в виде

$$(P_{\text{ат}} - P) \cdot F = C_{\text{экр.}} \cdot (\chi_{\max} - \chi), \quad (1)$$

где $P_{\text{ат}}$ – атмосферное давление;

F – площадь поршня;

P – переменное давление в камере.

Считая процессы истечения и впуска воздуха в камеру массажного колокола происходящими без теплообмена с окружающей средой, запишем уравнение материального баланса при отсасывания воздуха в виде уравнения

$$dG - dG_1 = 0 \quad (2)$$

Для этого состояния массажного колокола справедливо уравнение Пуассона

$$G = C \cdot \frac{1}{k} \cdot P^{\frac{1}{k}} \cdot V, \quad (3)$$

где $C = \frac{P}{\gamma^k} = \text{const}$ – постоянная величина;

γ – удельный вес воздуха;

k – показатель адиабаты;

V – текущий объем камеры.

Дифференциальное уравнение изменения объема камеры массажного колокола можно получить из выражения (1)

$$dV = \frac{F^2}{C_{\text{экр.}}} \cdot dP \quad (4)$$

После подстановок и преобразования дифференциальное уравнение изменения давления воздуха при его отсасывании из массажного колокола может быть представлено в следующем виде

$$\frac{dP}{d\tau} = \frac{P_B^{1-m} \cdot f_1 \cdot a \cdot \mu \cdot \sqrt{P^m - P_B^m}}{C_{\text{экр.}} \cdot F^2 \cdot (2-m) \cdot P^{1-m} A_1 \cdot P^{-m} \cdot (1-m)} \quad (5)$$

В уравнении (5), его составляющие определяются по известным формулам [5] и имеют следующие значения:

P_B – величина рабочего давления воздуха (вакуума) в камере;

f_1 – площадь отверстия;

μ – коэффициент расхода;

$$a = \sqrt{\frac{2g \cdot k}{k-1} \cdot C \cdot \frac{1}{k}};$$

$$m = \frac{k-1}{k};$$

$$A_1 = V - \frac{P_{\text{ат}} \cdot F^2}{C_{\text{экр.}}} \cdot dP.$$

Подача воздуха в массажный колокол приведет к изменению давления в нем по закону

$$\frac{dP}{d\tau} = \frac{P^{1-m} \cdot f_1 \cdot a \cdot \mu \cdot \sqrt{P_{\text{ат}}^m - P^m}}{C_{\text{экр.}} \cdot F^2 \cdot (2-m) \cdot P^{1-m} A_1 \cdot P^{-m} \cdot (1-m)}, \quad (6)$$

Рассмотрим работу массажного устройства в том случае, если в его расчетную схему ввести дренажное отверстие с площадью сечения f_2 , через которое впускается воздух в количестве dG_2 при давлении, равном атмосферному (рис. 3).

Моделью устройства является цилиндр, внутри которого перемещается поршень 2. Через отверстие 5 с помощью пульсатора подается переменное давление, а отверстие 2 соединяет полость массажного колокола с атмосферой.

В модели упругость резиновых стенок силовой камеры и тканей вымени животного заменена действием пружины 4 с жесткостью $C_{\text{экр.}}$.

Учитывая теоретическое описание предыдущей модели, получим математическое выражение изменения давления в массажном колоколе при отсосе воздуха:

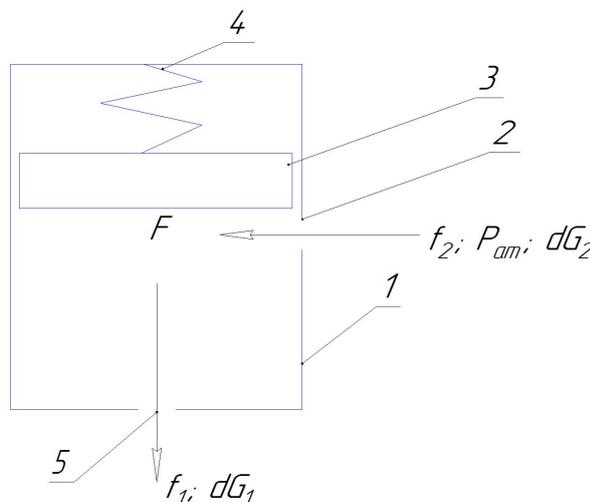


Рис. 3. Расчетная схема массажного колокола с переменным объемом и дренажным отверстием.
1 – цилиндр; 2 – дренажное отверстие; 3 – поршень; 4 – пружина; 5 – отверстие

$$\frac{dP}{d\tau} = \frac{P^{1-m} \cdot f_2 \cdot a \cdot \mu \cdot \sqrt{P_{aT}^m - P^m} - P_B^{1-m} \cdot f_1 \cdot a \cdot \mu \cdot \sqrt{P^m - P_B^m}}{F^2 \cdot (2-m) \cdot P^{1-m} A_1 \cdot P^{-m} \cdot (1-m)} \quad (7)$$

Для следующего рабочего такта это уравнение примет вид

$$\frac{dP}{d\tau} = \frac{P^{1-m} \cdot (f_1 + f_2) \cdot a \cdot \mu \cdot \sqrt{P_{aT}^m - P^m}}{F^2 \cdot (2-m) \cdot P^{1-m} A_1 \cdot P^{-m} \cdot (1-m)} \quad (8)$$

Следует отметить, что зависимости $P = \varphi(\tau)$

можно получить численным решением дифференциальных уравнений (5-8) методом Рунге-Кутты четвертого порядка, дающим достаточно высокую для практического применения точность решений.

На втором этапе моделирования устройства для массажа вымени животных двухкамерного типа усложним его расчетную схему и представим в следующем виде (рис. 4).

Введем обозначения:

P, D – текущее давление в рабочей камере и

массажном колоколе соответственно;

V, W – текущий объем рабочей камеры и мас-

сажного колокола;

V_5, W_5 – начальное значение объемов;

V_6, W_6 – конечное значение объемов;

G, Q, L, M – расход воздуха через отверстия

f_1, f_2, f_3, f_4 соответственно;

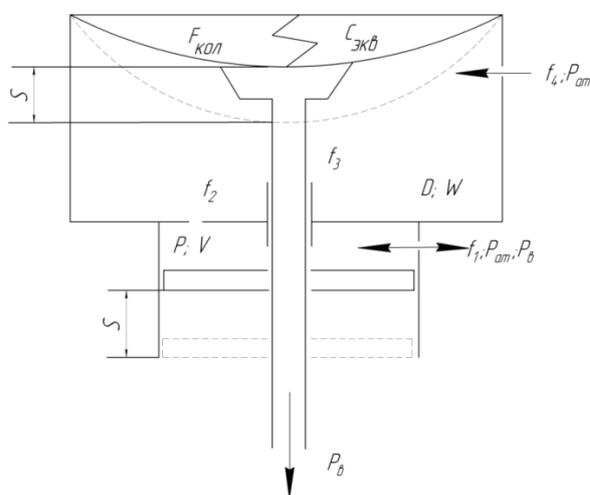


Рис. 4. Расчетная схема двухкамерного массажного устройства

$F_1 = F_2 = F$ – площадь поршня и площадь

присоска;

$C_{экв.}$ – эквивалентная суммарная жесткость

вымени, самой рабочей камеры и встроенной пружины;

S – заданный ход рабочего органа;

$P_{ат}$ – атмосферное давление;

P_b – давление в вакуумпроводе;

$F_{кол}$ – площадь контакта массажного колокола

с выменем животного;

E, H – количество воздуха соответственно в

силовой камере и в массажном колоколе.

В расчетной схеме для учета подсоса воздуха через неплотности прилегания массажного колокола к вымени животного введено отверстие с эквивалентным диаметром f_4 .

Рабочий орган для механического массажа показан в верхнем положении, когда происходит наибольшая откачка воздуха из обеих камер. Пунктиром показано нижнее положение рабочего органа. При этом отверстие f_3 открывается в верхнем положении рабочего органа.

Прежде чем составить математическую модель работы массажного устройства необходимо установить степень изменения объема массажного колокола W в процессе перемещения рабочего органа.

При этом будем считать, что W_0 – это объем колокола в верхнем положении штока.

Принимаем, что при перемещении штока вниз уменьшение объема равно объему полученного конуса (рис. 5).

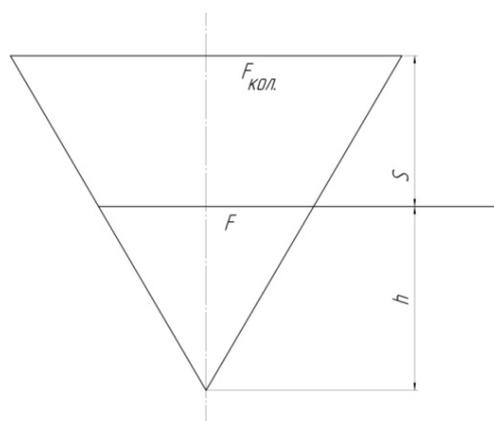


Рис. 5. Изменение объема колокола при перемещении рабочего органа

Высоту находим из пропорции

$$\frac{\sqrt{\frac{4 \cdot F_{\text{кол}}}{\pi}}}{2 \cdot (h + S)} = \frac{\sqrt{\frac{4 \cdot F}{\pi}}}{2 \cdot h} \quad (9)$$

отсюда

$$h = \frac{S \cdot \sqrt{F}}{\sqrt{F_{\text{кол}}} - \sqrt{F}} = S \cdot \frac{\sqrt{F_{\text{кол}} \cdot F} + F}{F_{\text{кол}} - F} \quad (10)$$

После геометрических преобразований изменение объема можно определить из уравнения:

$$\Delta W = \frac{S \cdot (F_{\text{кол}} + F + \sqrt{F_{\text{кол}} \cdot F})}{3} \quad (11)$$

Подставляя в полученное выражение уравнения (9) и (10) находим

$$\begin{aligned} \Delta W &= \frac{1}{3} F_{\text{кол}} \cdot S \cdot \left(1 + \frac{\sqrt{F_{\text{кол}} \cdot F} + F}{F_{\text{кол}} - F}\right) - \\ &- \frac{1}{3} F \cdot S \cdot \frac{\sqrt{F_{\text{кол}} \cdot F} + F}{F_{\text{кол}} - F} = \\ &= \frac{S}{3 \cdot (F_{\text{кол}} - F)} [F_{\text{кол}} \cdot (F_{\text{кол}} + \\ &+ \sqrt{F_{\text{кол}} \cdot F}) - F \cdot \sqrt{F_{\text{кол}} \cdot F} - F^2] = \\ &= \frac{S}{3 \cdot (F_{\text{кол}} - F)} [F_{\text{кол}}^2 - \\ &- F^2 + \sqrt{F_{\text{кол}} \cdot F} \cdot (F_{\text{кол}} \cdot F)] = \\ &= \frac{S \cdot (F_{\text{кол}} + F + \sqrt{F_{\text{кол}} \cdot F})}{3} \end{aligned} \quad (12)$$

Подставляя в эту формулу ориентировочные численные значения ее составляющих, находим, что изменение объема при рабочем ходе штока составляет примерно 20% от первоначального значения. Поэтому в модели функционирования пневмомеханического массажного устройства свободный объем колокола не является постоянной величиной. Его изменение следует учитывать с помощью формулы (12).

В исходном положении массажного устройства объем его рабочей камеры имеет наибольшее значение V_5 , а колокол имеет начальный объем W_5 .

В процессе работы при перемещении штока на величину χ объем камеры изменяется следующим образом:

$$V - V_5 - \Delta V = V_5 - F \cdot S$$

$$W = W_5 + \Delta W = W_5 + \frac{S}{3} \cdot (F_{\text{кол}} + F + \sqrt{F_{\text{кол}} \cdot F}) \quad (13)$$

Введя новую постоянную, $\frac{F_{\text{кол}}}{F} = \gamma$ и используя зависимость $V = \varphi(P)$ окончательно получим:

$$W = \frac{F^2}{3 \cdot C_{\text{экр.}}} (\gamma + 1 + \sqrt{\gamma}) \cdot (P_a - P) \quad (14)$$

Дифференциальное уравнение, описывающее изменение объема будет выглядеть следующим образом:

$$dW = \frac{F^2}{3 \cdot C_{\text{экр.}}} (\gamma + 1 + \sqrt{\gamma}) \cdot dP = A_2 \cdot dP \quad (15)$$

Следует особо отметить, что описание работы устройства будет существенно отличаться в зависимости от перемещения штока. Причем в процессе его движения объем камер V и W – величина пере-

менная, а при фиксировании в крайних положениях – величина постоянная. При этом ввиду небольшой величины объем присоска можно не учитывать и считать, что давление в трубке равно давлению в вакуумпроводе.

При работе пульсатора к отверстию f_1 , пере-

менно подключается источник разрежения и атмосферного давления, т.е. по существу следует учитывать наличие двух циклов работы. В случае, если размер отверстия f_1 будет достаточно большой, при

максимальных перемещениях, равных S , шток будет фиксироваться, и математическое описание будет изменяться. В связи с этим для дальнейшего рассмотрения примем наибольшее количество стадий:

τ_1 – подъем штока;

τ_2 – выдержка вверху;

τ_3 – опускание штока;

τ_4 – выдержка внизу.

Причем сумма $\tau_1 + \tau_2 = \tau_5 = 0,7$ с соответ-

ствует подаче пульсатором вакуума, а $\tau_3 + \tau_4 = \tau_6 = 0,3$ с – присоединению отверстия f_1

к источнику атмосферного давления.

В таком же порядке будет составляться математическое описание. Всем физическим величинам (кроме площади отверстий) присваиваются индексы, соответствующие номеру стадии.

Чтобы избежать громоздких выкладок при выводе уравнений, описывающих переток воздуха в обеих камерах, в конечном виде представим только расчетные схемы и системы дифференциальных уравнений, соответствующие им. Следует отметить, что полученные математические модели охватывают все узлы двухкамерных пневмомассажных устройств и адаптированы для решений на ЭВМ.

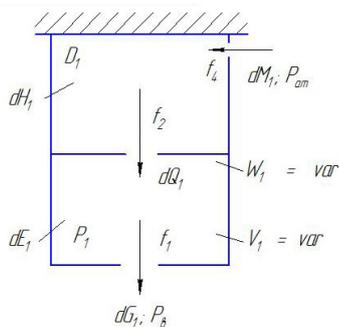


Рис. 6. Расчетная схема (а)

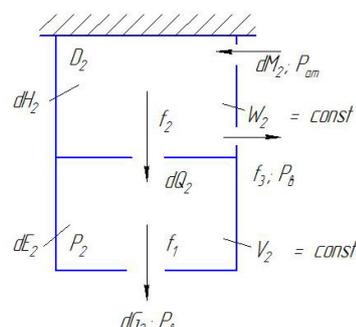


Рис. 7. Расчетная схема (б)

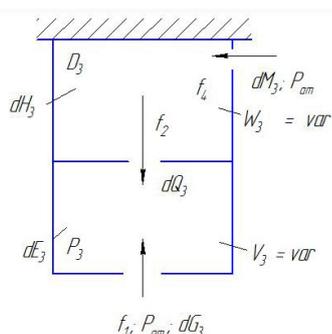


Рис. 8. Расчетная схема (в)

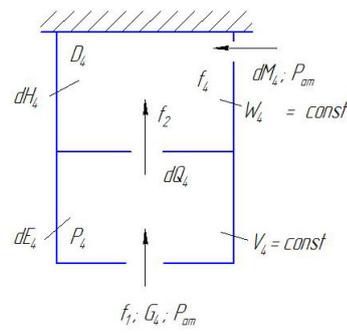


Рис. 9. Расчетная схема (г)

$$\frac{dP_1}{d\tau_1} = \frac{-(-1)^n P_5^{1-m} f_2 \cdot \mu \cdot a \cdot \sqrt{P_6^m - P_5^m} - P_B^{1-m} a \cdot f_1 \cdot \mu \cdot \sqrt{P_1^m - P^m}}{\frac{F^2}{C_{\text{экв}}} \cdot P_1^{1-m} \cdot (2-m) + A_1 \cdot P_1^{-m} \cdot (1-m)} = A_3;$$

$$\frac{dD_1}{d\tau_1} = \frac{A_2 \cdot D_1^{1-m} \cdot A_3 + D_1^{1-m} \cdot f_4 \cdot \mu \cdot a \cdot \sqrt{P_a^m - D_1^m} + (-1)^n \cdot P_5^{1-m} \cdot \mu \cdot a \cdot f_2 \cdot \sqrt{P_6^m - P_5^m}}{(1-m) A_2 (P_{aT} - P_1) D_1^{-m}};$$

$$\frac{dP_2}{d\tau_2} = \frac{(-1)^n \cdot P_5^{1-m} \cdot f_2 \cdot \mu \cdot a \cdot \sqrt{P_6^m - P_5^m} - P_B^{1-m} a \cdot f_1 \cdot \mu \cdot \sqrt{P_2^m - P_B^m}}{(1-m) \cdot V_6 \cdot P_2^{-m}};$$

$$\frac{dD_2}{d\tau_2} = \frac{-(-1)^n \cdot P_5^{1-m} \cdot f_2 \cdot \mu \cdot a \cdot \sqrt{P_6^m - P_5^m} - P_B^{1-m} \cdot f_3 \cdot \mu \cdot a \cdot D_2^m - P_B^m + D_2 \cdot \mu \cdot a \cdot f_4 \cdot \sqrt{P_a^m - D_2^m}}{(1-m) \cdot W_6 \cdot D_2^{-m}};$$

$$\frac{dP_3}{d\tau_3} = \frac{-(-1)^n \cdot P_5^{1-m} \cdot f_2 \cdot \mu \cdot a \cdot \sqrt{P_6^m - P_5^m} + P_3^{1-m} a \cdot f_1 \cdot \mu \cdot \sqrt{P_a^m - P_3^m}}{\frac{F^2}{C_{\text{экв}}} (2-m) \cdot P_3^{1-m} + A_1 \cdot P_3^{-m} \cdot (1-m)} = A_4;$$

$$\frac{dD_3}{d\tau_3} = \frac{A_2 \cdot A_{43} D_3^{1-m} + D_3^{1-m} \cdot \mu \cdot a \cdot f_4 \cdot \sqrt{P_a^m - D_3^m} - (-1)^n \cdot P_5^{1-m} \cdot \mu \cdot a \cdot f_2 \cdot \sqrt{P_6^m - P_5^m}}{A_2 \cdot (1-m) \cdot (P_{aT} - P_3)};$$

$$\frac{dP_4}{d\tau_4} = \frac{P_4^{1-m} \cdot f_1 \cdot \mu \cdot a \cdot \sqrt{P_{aT}^m - P_4^m} - (-1)^n \cdot P_5^{1-m} \cdot \mu \cdot a \cdot f_2 \cdot \sqrt{P_6^m - P_5^m}}{(1-m) \cdot V_5 \cdot P_4^{-m}};$$

$$\frac{dD_4}{d\tau_4} = \frac{D_4^{1-m} \cdot \mu \cdot a \cdot f_4 \cdot \sqrt{P_{aT}^m - D_4^m} + (-1)^n \cdot P_5^{1-m} \cdot f_2 \cdot \mu \cdot a \cdot \sqrt{P_6^m - P_5^m}}{(1-m) \cdot W_5 \cdot D_4^{-m}}.$$

Примечание:

- 1) при $D_i > P_i$; $n = 1$; $P_5 = P_i$; $P_6 = D_i$;
- 2) при $D_i < P_i$; $n = 2$; $P_5 = D_i$; $P_6 = P_i$;

Выводы

Таким образом, принципиальным подходом к моделированию пневмосистемы устройств для массажа вымени нетелей двухкамерного типа является разработка математического аппарата, позволяющего проводить теоретические исследования работы относительно простых в конструктивном плане устройств и на основе синтеза полученных зависимостей моделировать работу более сложных конструкций массажных устройств.

Список литературы

- [1] Агрегат для пневмомассажа вымени нетелей АПМ-1-Ф. /Паспорт УПВН. ОО. ООПС. Издание первое. Производственное объединение «Кургансельмаш», 1986. – 34 с.
- [2] Жужа, С.В. Механизация процесса массажа вымени нетелей в условиях современных комплексов: автореф. дис... канд. техн. наук: 05.20.01/ Жужа Сергей Васильевич. – М., 1984. – 18 с.
- [3] Королев, В.Ф. Доильные машины, теория и расчеты / В.Ф. Королев. М.: Машиностроение, 1969. – 276 с.
- [4] Котенджи, Г.П. Подготовка нетелей к лактации /Г.П. Котенджи, А.А. Курочкин //Доклады ВАСХНИЛ. – 1987. – №4. – С. 32-34.
- [5] Краснов, И.Н. Доильные аппараты / И.Н. Краснов. – Ростов; Ростовский университет, 1974. – 372 с
- [6] Курочкин, А.А. Повышение эффективности подготовки нетелей к лактации за счет совершенствования процессов и средств механизации: автореф. дис... д-ра. техн. наук: 05.20.01 / Курочкин Анатолий Алексеевич. Санкт-Петербург, 1993. – 42 с.
- [7] Курочкин, А.А. Повышение эффективности подготовки нетелей к лактации за счет совершенствования процессов и средств механизации: дис... д-ра. техн. наук: 05.20.01 / Курочкин Анатолий Алексеевич. – Санкт-Петербург, 1993. – 321 с.
- [8] Курочкин А.А., Скоров Н.П., Котенджи Г.П., Коробков В.А. Способ подготовки нетелей к лактации //А.с. СССР №1329695. – 1987. Бюл. № 30.
- [9] Курочкин А.А., Скоров Н.П., Котенджи Г.П., Коробков В.А. Устройство для массажа вымени животных //А.с. СССР №1337006. – 1987. Бюл. № 34.
- [10] Курочкин А.А., Скоров Н.П., Котенджи Г.П., Овсянко Л.И. Устройство для массажа вымени животных //А.с. СССР №1407458. – 1988. Бюл. № 25.
- [11] Курочкин, А.А. Системный подход к разработке экструдера для термовакuumной обработки экструдата / А.А. Курочкин // Инновационная техника и технология. – 2014. – № 4. – С. 17-21.
- [12] Курочкин, А.А. Определение основных параметров вакуумной камеры модернизированного экструдера / А.А. Курочкин, Д.И. Фролов, П.К. Воронина // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. – 2015. – № 4 (32). – С. 172-177.
- [13] Курочкин, А.А. Теоретическое обоснование термовакuumного эффекта в рабочем процессе модернизированного экструдера / А.А. Курочкин, Г.В. Шабурова, Д.И. Фролов, П.К. Воронина // Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии. – 2015. – № 3. – С. 15-20.
- [14] Курочкин, А.А. Анализ конструктивно-технологических схем устройств для массажа вымени нетелей / А.А. Курочкин // Инновационная техника и технология. – 2016. – № 1. – С. 29-34.
- [15] Скроманис, А.А. Основы расчета доильных аппаратов и установок. /А.А. Скроманис. Елгава: ЛСХА. – 1980. – 320 с.
- [16] Ужик, О.В. Разработка и теоретическое обоснование технологий и технических средств для молочного скотоводства: дис... д-ра. техн. наук: 05.20.01 / Ужик Оксана Владимировна. – Белгород, 2014. – 388 с.

MATHEMATICAL MODELLING OF THE PNEUMATIC SYSTEM OF DEVICES FOR MASSAGE OF THE UDDER OF HEIFERS OF TWO-CHAMBER TYPE

A. A. Kurochkin

The paper presents the results of mathematical modeling of pneumatic devices for a combined massage of the udder of heifers two-chamber type. In the first stage of theoretical studies the mathematical model of the process of the flow of air from the chamber with a constant volume through the hole with the same diameter. More sophisticated is the design the device to massage the udder of heifers includes a power pneumatic chamber with variable volume, which can be performed at the same time or separately with a massage bell and connect periodically or on a continuous basis through one or several calibrated holes. In this case, the device is in the form of a two-chamber design described by a more complex mathematical model. Thus, a principled approach to modeling of pneumatic devices for massage of the udder of heifers two-chamber type is to develop a mathematical apparatus, allowing to carry out theoretical research work is relatively simple is the design of devices and based on the synthesis of these dependencies to simulate the operation of more complex structures massage devices.

Keywords: *heifers, mammary gland, combination massage, power pneumatic chamber, massage bell, vacuum, pressure.*

References

- [1] Assembly for pneumomassage of the udder of heifers APM-1-F. /Passport UPVN. OO. OOOOS. First edition. Production Association «KURGANSELMASH», 1986. – 34 p.
- [2] Susan, S. V. Mechanization process of massage of the udder of heifers in modern complexes: author. dis... cand. tech. sciences: 05.20.01/ Susan Sergey. – M., 1984. – 18 p.
- [3] Korolev, V.F. Milking machines, theory and calculations / V.F. Korolev. M.: Mashinostroenie, 1969.– 276 p.
- [4] Katangi, G. P. Training heifers to lactation /Katangi, G. P., Kurochkin A. A. //Reports of agricultural Sciences. – 1987. – No. 4. – P. 32-34.
- [5] Krasnov, I.N. Milking machines / I.N. Krasnov.– Rostov; Rostov University, 1974.– 372 p.
- [6] Kurochkin, A. A. Improving the efficiency of training heifers to lactation through improved processes and means of mechanization: author. dis...dr. tech. science: 05.20.01 / Kurochkin Anatoly Alekseevich. Saint Petersburg, 1993. – 42 p.
- [7] Kurochkin, A. A. Improving the efficiency of training heifers to lactation through improved processes and means of mechanization: dis...dr. tech. sciences: 05.20.01 / Kurochkin Anatoly Alekseevich. – Saint Petersburg, 1993. – 321 p.
- [8] Kurochkin A. A., Skorov N. P., Katangi G. P., Korobkov V. A. The Method of preparing heifers to lactation //A. S. USSR №1329695. – 1987. Bull. No. 30.
- [9] Kurochkin A. A., Skorov N. P., Katangi G. P., Korobkov V. A. The Device to massage the udder of animals //A. S. USSR №1337006. – 1987. Bull. No. 34.
- [10] Kurochkin A. A., Skorov N. P., Katangi G. P., Ovsyanko, I. L. The Device for massage of the udder of animals //A. S. USSR №1407458. – 1988. Bull. No. 25.
- [11] Kurochkin, A. A. A systematic approach to the development of an extruder for thermal vacuum processing of the extrudate / A.A. Kurochkin // Innovative engineering and technology. – 2014. – No. 4. – P. 17-21.
- [12] Kurochkin, A.A. Determination of the basic parameters of the vacuum chamber upgraded extruder / A.A. Kurochkin, D.I. Frolov, P.K. Voronina // Bulletin of the Ulyanovsk State Agricultural Academy. – 2015. . – No. 4 (32). – P. 172-177.
- [13] Kurochkin, A.A. The theoretical justification for thermal vacuum effect in the working process of the upgraded extruder / A.A. Kurochkin, G.V. Shaburova, D.I. Frolov, P.K. Voronina // Bulletin of the Samara State Agricultural Academy. – 2015. – No. 3. – P. 15-20.
- [14] Kurochkin, A. A. Analysis of the structural and technological schemes of devices for massaging the udder of heifers / A.A. Kurochkin // Innovative engineering and technology.– 2016. – No. 4. – P. 29-34.
- [15] Straumanis, A.A. Basis of design of milking machines and installations. /A. A. Straumanis. Jelgava: LSHA.– 1980.– 320 p.
- [16] Uzhik, O. V. Development and theoretical substantiation of technology and equipment for dairy cattle: dis... dr. tech. sciences: 05.20.01 / Uzhik Oksana Vladimirovna. – Belgorod, 2014. – 388 p.