

УДК 636.2:631.3

**ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ КОНСТРУКТИВНО-РЕЖИМНЫХ
ПАРАМЕТРОВ РЕГУЛЯТОРА ВАКУУММЕТРИЧЕСКОГО ДАВЛЕНИЯ
В ДОИЛЬНОМ АППАРАТЕ**

Ужик В.Ф. д.т.н., проф.

(Белгородская государственная сельскохозяйственная академия)

Чигрин А.А. ас.

*(Харьковский национальный технический университет сельского хозяйства им.
П. Василенко)*

В статье приведено теоретическое обоснование конструктивно-режимных параметров регулятора вакуумметрического давления в подсосковом пространстве доильного стакана адаптивного доильного аппарата для коров, при которых обеспечивается оптимальный режим воздействия на молочную железу.

Для роста производительности молочно-товарной фермы крайне необходимо создание доильного оборудования, которое исключало бы вредное воздействие вакуума на соски вымени животных в начале и по завершении их доения, а также при недостаточной интенсивности потока молока.

Одна из технологий доения коров – использование доильных аппаратов с переменным вакуумным режимом.

По мнению Анисько П.Е., доильный аппарат, работающий в переменном вакуумном режиме в зависимости от интенсивности молокоотдачи, отвечает физиологии животных и обеспечивает защиту сосков от повреждения [1].

Поэтому, для повышения эффективности доения коров, в лаборатории кафедры механизации животноводческих ферм ХНТУСХ был разработан доильный аппарат [2] попарного доения с инерционным датчиком потока

молока поплавкового типа, управляемой частотой пульсаций вакуумметрического давления, наряду с изменением соотношения тактов и переменным режимом вакуумметрического давления в зависимости от интенсивности потока молока.

На рис. 1 приведена схема регулятора вакуума с указанием конструктивно-режимных параметров, характеризующих его.

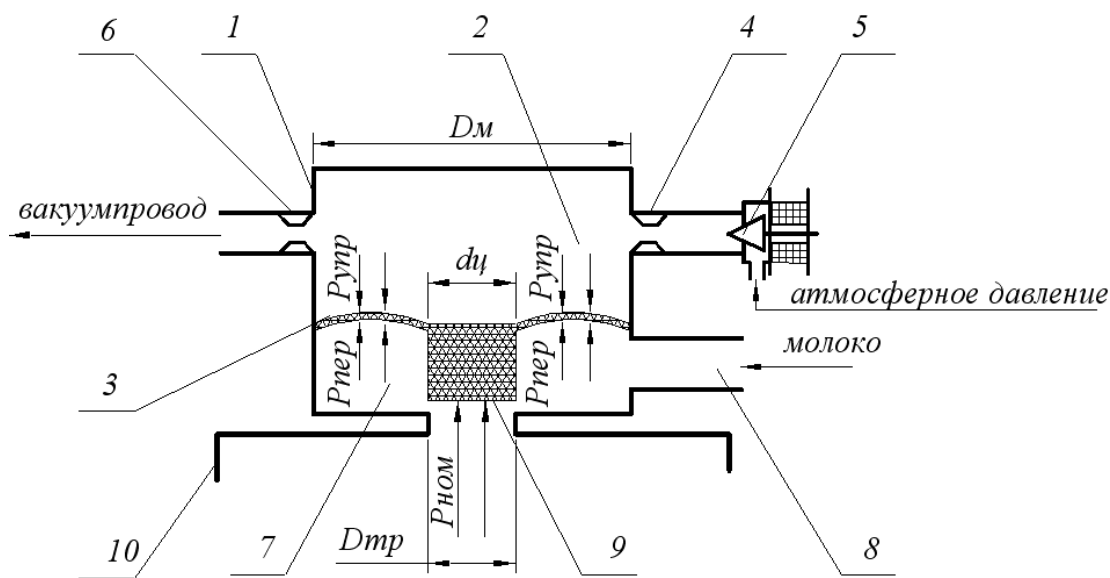


Рис. 1. Схема регулятора вакуума: 1 – корпус регулятора вакуума, 2 – камера управления, 3 – гибкая мембрана, 4 – калиброванный канал сообщения с атмосферой, 5 – электроклапан, 6 – калиброванный канал сообщения с вакуумпроводом, 7 – камера переменного вакуумметрического давления, 8 – патрубок сообщения с коллектором, 9 – жесткий центр мембраны, 10 – датчик потока молока, $D_{тр}$ – диаметр отверстия для истечения молока, D_m – диаметр мембраны, $d_{ц}$ – диаметр жесткого центра мембраны, $P_{ном}$ – номинальное вакуумметрическое давление, $P_{упр}$ – вакуумметрическое давление в камере управления, $P_{пер}$ – переменное вакуумметрическое давление.

Как следует из описания работы доильного аппарата [2], режим работы регулятора вакуума определяется вакуумметрическим давлением ($P_{упр}$) в камере управления 7:

$$P_{упр} = P_{ном} - \Delta p, \quad (1)$$

где $P_{ном}$ – вакуумметрическое давление номинального режима работы, которое поддерживается в датчике потока молока 10 и камере 7 переменного вакуумметрического давления регулятора, $кПа$;

Δp – перепад давлений, которому подвергается гибкая мембрана 3 в процессе работы доильного аппарата, $кПа$.

Сопротивление мембраны внешней нагрузке рассматривается как сумма сопротивлений изгибу и растяжению [3].

Сопротивление мембраны изгибу определяется по линейной теории изгиба круглой пластинки.

$$\left(\frac{PR^4}{E\delta^4} \right)_u = \frac{16}{3(1-\nu^2)} \cdot \frac{a}{\delta} \quad (2)$$

где δ – толщина мембраны, $м$;

ν – коэффициент Пуассона (для абсолютно упругих мембран $\nu=0,5$);

a – перемещение жесткого центра мембраны под действием вакуумметрического давления, $м$;

Сопротивление мембраны растяжению определяется из расчета абсолютно гибкой мембраны, которая работает только на растяжение.

$$\left(\frac{PR^4}{E\delta^4} \right)_p = \frac{7-\nu}{3(1-\nu)} \cdot \frac{a^3}{\delta^3} \quad (3)$$

Нагрузка на мембрану по методу «наложения» может быть выражена суммой двух слагаемых:

$$\frac{PR^4}{E\delta^4} = \frac{16}{3(1-\nu^2)} \cdot \frac{a}{\delta} + \frac{7-\nu}{3(1-\nu)} \cdot \frac{a^3}{\delta^3} \quad (4)$$

Отсюда определим перепад давления:

$$\Delta P = \left[\frac{16}{3(1-\nu^2)} \cdot \frac{a}{\delta} + \frac{7-\nu}{3(1-\nu)} \cdot \frac{a^3}{\delta^3} \right] \cdot \frac{E\delta^4}{R_s^4} \quad (5)$$

где ΔP – перепад давлений по обе стороны мембраны, $кПа$;

E – модуль упругости материала мембраны, (для резины $E \approx 10, МПа$);

R_3 – радиус эффективной площади эластичной мембраны с жестким центром, м.

При малых прогибах мембраны, зажатой между фланцами, эффективная площадь мембраны равна $\frac{1}{3}$ ее полной геометрической площади (остальные $\frac{2}{3}$ площади передают усилие на фланцы крепления)[4].

$$S_3 = \frac{1}{3} \cdot \frac{\pi D_m^2}{4} \quad (6)$$

где D_m – диаметр мембраны, м.

Отсюда находим радиус эффективной площади мембраны:

$$R_3 = \sqrt{\frac{3S_3}{\pi}} \quad (7)$$

где S_3 – эффективная площадь плоской эластичной мембраны с жестким центром, м²[4]:

$$S_3 = \frac{\pi}{12} (D_m^2 + d_u \cdot D_m + d_u^2) \quad (8)$$

где d_u – диаметр жесткого центра мембраны, м;

Подставив выражение (8) в (7) получим:

$$R_3 = \frac{1}{2} \sqrt{(D_m^2 + d_u \cdot D_m + d_u^2)} \quad (9)$$

Тогда уравнение (5) с учетом (7) будет иметь вид:

$$\Delta P = \left[\frac{16}{3(1-\nu^2)} \cdot \frac{a}{\delta} + \frac{7-\nu}{3(1-\nu)} \cdot \frac{a^3}{\delta^3} \right] \cdot \frac{2E\delta^4}{(D_m^2 + d_u \cdot D_m + d_u^2)^2} \quad (10)$$

На величину вакуумметрического давления в камере управления ($P_{упр}$) значительное влияние оказывает соотношение площадей трубки 9 и камеры 7, ($\frac{S_{mp}}{S_\kappa}$). При малых значениях соотношения ($\frac{S_{mp}}{S_\kappa}$) большее влияние на мембрану будет оказывать переменное вакуумметрическое давление ($P_{пер}$). Таким образом, справедливо будет равенство $P_{упр} = P_{пер}$. В этом случае через кольцевую щель между дном камеры 7 переменного вакуумметрического давления и

жестким центром мембраны 9 будет перетекать молоко и откачиваться воздух из подсосковой камеры стакана.

Очевидно, что перемещение a жесткого центра мембраны обусловлено интенсивностью потока молока, перетекаемого из камеры 7 в отверстие образованное жестким центром 9 мембраны, а также интенсивностью откачивания воздуха по этому же пути:

$$a = a_1 + a_2, \quad (11)$$

где a_1 – перемещение жесткого центра мембраны, зависящее от интенсивности потока перетекаемого молока, m ;

a_2 – перемещение жесткого центра мембраны, зависящее от интенсивности потока откачиваемого воздуха, m .

Режим движения молока в камерах регулятора вакуумметрического давления в начальный период (режим стимулирования) – неустановившийся. Объем молока в камере переменного вакуумметрического давления 7 будет то повышаться, то понижаться, а из подсосковой камеры дополнительно будут отсасываться остатки воздуха. За время dt объем жидкости в камере 7 изменится на величину Sdz (где S – площадь поверхности молока в камере 7 на отметке z , dz – изменение отметки z за время dt). Это изменение объема равно разности объема, поступившего в камеру (qdt) и объема (Qdt) вытекающего из камеры 7 через отверстие образованное дном самой камеры 7 и жестким центром 9 мембраны в датчик 10 потока молока [2]. С учетом этого:

$$Sdz = qdt - Qdt \quad (12)$$

Это уравнение баланса (или уравнение неустановившегося движения) молока в камерах регулятора вакуумметрического давления. При постоянном притоке (Q) такое неустановившееся движение стремится стать установившимся.

В любой момент времени расход из камеры 7 равен [5]:

$$Q = \mu \cdot S_0 \cdot \sqrt{2gz} \quad (13)$$

где μ – обобщающий коэффициент расхода жидкости;

S_0 – площадь поперечного сечения отверстия для истечения молока из камеры 7.

В нашем случае отверстие представляет собой плоскую кольцеобразную щель между жестким центром 9 мембраны и дном камеры 7:

$$S_0 = S_{щ1} = \pi D_{mp} a_1 \quad (14)$$

В процессе работы доильного аппарата напор молока в камере 7 будет повышаться (или понижаться); при этом расход истечения (q) будет увеличиваться (или уменьшаться) до тех пор, пока он не сравняется с притоком (Q). Напор, при котором $q = Q$, определится как:

$$H_0 = \frac{q^2}{\mu^2 S_0^2 2g} \quad (15)$$

В начальный период процесса доения объем поступающего молока будет увеличиваться, уровень в камере 7 будет повышаться, т.е. изменение отметки (z) будет стремиться к конкретному значению уровня (H).

Но при неустановившемся режиме движения молока напор истечения будет зависеть не только от разности вакуумметрических давлений ($\Delta p = P_{ном} - P_{пер}$), а также от дополнительного вакуумметрического давления ($h_{вак}$), которое образуется вследствие наличия явления «сжатия» струи жидкости при истечении из отверстия.

$$H = H_0 + \frac{\Delta p}{\gamma} + h_{вак} \quad (16)$$

где H_0 – напор молока при установившемся течении, м;

γ – удельный вес молока, $H/м^3$;

$h_{вак}$ – величина дополнительного вакуумметрического давления определяется по зависимости, [5]:

$$h_{вак} = 2\varphi^2 H_0 \left(\frac{1-\varepsilon}{\varepsilon} \right) \quad (17)$$

где ε – коэффициент сжатия струи, при истечении струи жидкости через отверстие;

φ – коэффициент скорости, согласно [6] отверстие круглого сечения в днище камеры 7 характеризуется коэффициентом скорости $\varphi=0,97$.

Сжатие струи происходит в силу инерционности частиц, поэтому при входе в отверстие образуется дополнительный вакуум [4]. Следовательно коэффициент сжатия струи для таких условий может быть равным: $\varepsilon=0,64$.

Подставив значения коэффициентов φ и ε в уравнение (17), получим:

$$h_{\text{вак}} = 2 \cdot 0,97^2 H_0 \left(\frac{1-0,64}{0,64} \right) \approx 1,06 H_0 \quad (18)$$

Из соотношения (18) следует, что дополнительное вакуумметрическое давление, образующееся в зоне кольцевой щели, образованной жестким центром 9, мембраны и дном камеры 7 увеличивает ее пропускную способность.

С учетом вышеизложенного расход из камеры 7 равен:

$$Q = \mu \cdot S_{\text{щ1}} \sqrt{2g \left(2,06 H_0 + \frac{P_{\text{ном}} - P_{\text{пер}}}{\gamma} \right)} \quad (19)$$

где $S_{\text{щ1}}$ – площадь кольцевой щели.

Обобщающий коэффициент расхода жидкости можно определить как:

$$\mu = \varepsilon \cdot \varphi \quad (20)$$

Подставив формулу (14) в (15) и затем обе их в (19) получим зависимость описывающую интенсивность движения молока через плоскую кольцеобразную щель.

$$Q = \mu \pi D_{\text{мп}} a_1 \sqrt{2g \left\{ 2,06 \cdot \left[\frac{q^2}{\mu^2 (\pi D_{\text{мп}} a_1)^2 2g} \right] + \frac{P_{\text{ном}} - P_{\text{пер}}}{\gamma} \right\}} \quad (21)$$

Затем, разработав по уравнению (21) программу для ЭВМ, так как уравнения такого типа трудно решаемы аналитическим путем, мы можем получить частные решения этой задачи для конкретных конструктивных параметров данного устройства. Например, можно представить данную зависимость расхода жидкости Q от перемещения мембраны a_1 в виде таблицы

значений или в графическом виде с учетом перепада давлений на участке кольцевой щели образованной жестким центром 9 мембраны и дном камеры 7:

Для определения перемещения мембраны a_2 в связи с необходимостью образования щели для откачки воздуха из камеры 7, воспользуемся известной формулой Пуазейля (для сжимаемой жидкости) [7, 8], которая описывает зависимость массового расхода воздуха через отверстия, насадки, каналы и т.д.:

$$G_6 = \frac{\pi d^4}{256RT\eta l} (P_1^2 - P_2^2), \quad (22)$$

Преобразуем это уравнение:

$$G_6 = \frac{\pi d^4 (P_1 - P_2)}{128\eta l} \cdot \frac{(P_1 + P_2)}{2RT} \quad (23)$$

Обозначим $\frac{(P_1 + P_2)}{2RT} = \rho$ – средняя плотность двухфазного потока (молоко с воздухом) при его передвижении через пневмосопротивление (плоскую кольцеобразную щель).

Для практических расчетов плотности двухфазного потока можно использовать зависимость [9]:

$$\rho_{см} = \phi \cdot \rho_6 + (1 + \phi) \cdot \rho_m \quad (24)$$

где ϕ – коэффициент насыщения двухфазного потока воздухом;

ρ_6 – плотность воздуха, кг/м³;

ρ_m – плотность молока, кг/м³

Произведем преобразование уравнения (23) для выявления площади плоской кольцеобразной щели.

$$G_6 = \left(\frac{\pi d^2}{4} \cdot \frac{\pi d^2}{4} \right) \cdot \frac{\rho_{см}}{\pi 8\eta l} (P_1 - P_2) \quad (25)$$

где: $\left(\frac{\pi d^2}{4} \cdot \frac{\pi d^2}{4} \right) = S_{щ2}^2$ – площадь сечения плоской кольцеобразной щели для создания вакуумметрического давления, возведенной в квадрат, м².

Плоская кольцеобразная щель имеет следующие размеры:

длина – πD_{mp} , высота – a_2 , площадь – $S_{ц2} = \pi D_{mp} a_2$, толщина щели (длина канала – l), в нашем случае, имеет несущественные размеры с ее габаритами.

$$G_6 = \frac{\pi D_{mp}^2 a_2^2 \rho_{см} (P_{ном} - P_{пер})}{8\eta l} \quad (26)$$

Из уравнения (26) находим искомое значение a_2 :

$$a_2 = \sqrt{\frac{8G_6 \eta l}{\pi D_{mp}^2 \rho_{см} (P_{ном} - P_{пер})}} \quad (27)$$

Таким образом, на основе классических законов газо-динамики и гидравлики, нами произведено теоретическое обоснование конструктивно-режимных параметров регулятора вакуумметрического давления в подсосковой камере доильного стакана адаптивного доильного аппарата для коров, при которых обеспечивается оптимальный режим воздействия на молочную железу.

Список литературы

1. Анисько П.Е. Физиологическое обоснование переменного режима машинного доения коров при автоматическом регулировании вакуума: автореф. дис. На соискание научной степени канд. биол. наук: спец. 0.300.13 / Анисько П.Е. – Жодино, 1988. – 22 с.

2. Пат. 2328110 RU, МПК А01J 5/04, А01J 5/00. Доильный аппарат // Ужик В.Ф., Науменко А.А., Чигрин А.А., Шарко В.И, Ужик О.В.; заявитель и патентообладатель ФГОУ ВПО «Белгородская государственная сельскохозяйственная академия». – № 2006123401/12; заявл. 30.06.06; опубл. 10.07.2008; бюл. N.19.

3. Андреева Л.Е. Упругие элементы приборов. – М.: МАШГИЗ, 1962. – 456 с.

4. Ибрагимов И.А., Фарзани Н.Г., Илясов Л.В. Элементы и системы пневмоавтоматики. – М.: Высш. школа, 1975. – 360с.

5. Идельчик И.Е. Справочник по гидравлическим сопротивлениям / Идельчик И.Е. – М., Машиностроение, 1975. – 559 с.

6. Циклаури Д.С. Гидравлика, сельскохозяйственное водоснабжение и гидросиловые установки // Учебное пособие – М., Стройиздат, 1970. – 256 с.

7. Альтшуль А.Д., Животовский Л.С., Иванов Л.П. Гидравлика и аэродинамика. – М.: Стройиздат, 1987. – 414 с.

8. Мельников С.В. Технологическое оборудование животноводческих ферм и комплексов // Учебное пособие для студентов вузов. – 2-е изд. перераб. – Л.Агропромиздат, 1985. – 640 с.

9. Фененко А.І. Механізація доїння корів. Теорія і практика: Монографія. – К., 2008. – 198 с.

Анотація

Теоретичне обґрунтування конструктивно-режимних параметрів регулятора вакуумметричного тиску в доїльному апараті

Ужик В.Ф., Чигирин О.А.

У статті приведено теоретичне обґрунтування конструктивно-режимних параметрів регулятора вакуумметричного тиску в підсосковому просторі доїльного стакана адаптивного доїльного апарату для корів, при яких забезпечується оптимальний режим дії на молочну залозу.

Abstract

Theoretical substantiation of is constructive-regime parameters of a vacuum pressure regulator in a milking machine

V. Uzik., A. Chygryn

In the article the theoretical ground constructive-regime parameters of regulator of vacuum pressure is resulted in under nipple space of milking glass of adaptive milking machine for cows at which the optimum mode of affecting is provided suckling gland.