

5. Томкунас, Ю.И. Влияние почвенно-климатических условий на износ шин / Ю.И. Томкунас // Агропанорама. – 2013. – № 3. – С. 2-5.

6. Сельское хозяйство Республики Беларусь: стат. сб. / Нац. стат. комитет Респ. Беларусь. – Минск, 2020. – 178 с.

7. Гедроить, Г.И. Уплотнение почв ходовыми системами сельскохозяйственных машин / Г.И. Гедроить // Агропанорама. – 2010. – № 6. – С. 8-12.

8. Гуськов, В.В. Тракторы. Часть II. Теория / В.В. Гуськов. – Минск: Вышэйш. школа, 1977. – 384 с.

9. Гедроить, Г.И. Взаимодействие с почвой многоколесных ходовых систем / Г.И. Гедроить, А.Г. Гедроить, А.Д. Четкин // Агропанорама. – 2012. – № 5. – С. 2-7.

ПОСТУПИЛА В РЕДАКЦИЮ 13.05.2021

УДК 637.116.2

ЗАВИСИМОСТЬ УДЕЛЬНОЙ ЭНЕРГОЕМКОСТИ ПРОЦЕССА МАШИННОГО ДОЕНИЯ ОТ КОНСТРУКТИВНЫХ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ДОИЛЬНОГО АППАРАТА

С.Н. Бондарев,

ассистент каф. технологий и механизации животноводства БГАТУ

А.В. Китун,

профессор каф. технологий и механизации животноводства БГАТУ, докт. техн. наук, профессор

В статье рассмотрена зависимость удельной энергоемкости процесса машинного доения животного от конструктивных и технологических параметров доильного аппарата.

Ключевые слова: машинное доение, энергоемкость, доильный аппарат, коллектор, расход воздуха, молоко.

The dependence of specific energy consumption of the machine milking process on the design and technological parameters of the milking machine is considered in the article.

Key words: machine milking, energy consumption, milking machine, collector, air consumption, milk.

Введение

Машинное доение – технологический процесс, при котором выдаивание молока из вымени животного осуществляется в подсосковую камеру доильного стакана, с дальнейшей его транспортировкой по молочным шлангам через коллектор в молокопровод. Этот процесс осуществляется за счет вакуумметрического давления, создаваемого вакуумным насосом, привод которого осуществляется от электродвигателя [1-4].

Таким образом, удельная энергоемкость процесса машинного доения животного зависит не только от параметров вакуумного насоса, но и от конструкции и режимов работы доильного аппарата.

При анализе результатов исследований [5-8], направленных на совершенствование доильных аппаратов, было установлено, что проводимые ранее исследования в основном были направлены на усовершенствование конструкции доильного аппарата и оптимизацию его параметров с целью уменьшения травмирующего воздействия на животное при его доении. В то же время важным показателем экономической эффективности являются удельные затраты энергии на процесс машинного доения.

Цель работы – определить зависимость удельной энергоемкости процесса машинного доения животного от конструктивных и технологических параметров доильного аппарата.

Основная часть

Удельную энергоемкость процесса машинного доения животного, в общем виде, определим по известной формуле

$$\mathcal{E}_1 = \frac{N_{\text{д}} t_{\text{д}}}{m_{\text{р}}}, \quad (1)$$

где $N_{\text{д}}$ – затраты энергии на процесс машинного доения животного, кВт;

$m_{\text{р}}$ – разовый удой молока от животного, т;

$t_{\text{д}}$ – время машинного доения животного, ч.

Процесс машинного доения животного доильным аппаратом осуществляется за счет вакуумметрического давления, создаваемого вакуумным насосом, привод которого осуществляется от электродвигателя. В процессе машинного доения животного (рис. 1) молоко извлекается из соска через канал за счет разности давлений в вымени и подсосковой камере доильного стакана. Далее образуется молоковоздушная

смесь, которая транспортируется в коллектор доильного аппарата из подсосковой камеры по молочной трубке. Тогда мощность, потребляемую вакуумным насосом, определим по формуле [9]

$$N_{\text{д}} = \frac{Q_{\text{д.а.}} p_{\text{вак}}}{\eta_{\text{н}}}, \quad (2)$$

где $Q_{\text{д.а.}}$ – производительность вакуумного насоса, затрачиваемая на создание вакуума в доильном аппарате, м³/с;

$p_{\text{вак}}$ – вакуумметрическое давление в подсосковых камерах доильных стаканов, Па.

$\eta_{\text{н}}$ – коэффициент полезного действия вакуумного насоса.

Вакуумметрическое давление в подсосковых камерах доильных стаканов определим по формуле

$$p_{\text{вак}} = p_{\text{атм}} + p_{\text{в}}, \quad (3)$$

где $p_{\text{атм}}$ – атмосферное давление, Па;

$p_{\text{в}}$ – вакуумметрическое давление, создаваемое вакуумным насосом для извлечения молока из вымени животного, Па.

Так как процесс извлечения молока из соска вымени животного осуществляется доильным аппаратом за счет создания вакуумметрического давления вакуумным насосом, то формула для определения производительности вакуумного насоса, затрачиваемой на создание вакуума в доильном аппарате, примет вид:

$$Q_{\text{д.а.}} = n_{\text{д.с.}} \left(\frac{V_{\text{м.к.}} + V_{\text{шл.д.с.}}}{t_{\text{А}} + t_{\text{В}}} + Q_{\text{см}} \right) + \frac{V_{\text{шл.п.}}}{t_{\text{А}} + t_{\text{В}}} + Q_{\text{к}}, \quad (4)$$

где $n_{\text{д.с.}}$ – количество доильных стаканов в доильном аппарате, шт;

$V_{\text{м.к.}}$ – объем межстенной камеры доильного стакана, м³;

$Q_{\text{см}}$ – объемный расход молоковоздушной смеси, откачиваемой из подсосковой камеры доильного стакана, м³/с;

$V_{\text{шл.п.}}$ – внутренний объем шлангов, соединяющих пульсатор с вакуум-распределителем на коллекторе, м³;

$V_{\text{шл.д.с.}}$ – внутренний объем шланга, соединяющего вакуум-распределитель и межстенную камеру доильного стакана, м³;

$t_{\text{А}}$ – время удаления воздуха из межстенной камеры доильного стакана, с;

$t_{\text{В}}$ – продолжительность такта «сосания», с;

$Q_{\text{к}}$ – объемный расход воздуха через отверстие в коллекторе доильного аппарата, м³/с.

Так как межстенная камера 4 (рис. 1) доильного стакана образуется между стенками гильзы 2 и сосковой резины 3, то

формула для определения ее объема имеет вид:

$$V_{\text{м.к.}} = \frac{\pi (d_{\text{г}} - d_{\text{н}})^2 l_{\text{с.р.}}}{4}, \quad (5)$$

где $d_{\text{г}}$ – внутренний диаметр гильзы доильного стакана, м;

$d_{\text{н}}$ – наружный диаметр сосковой резины, м;

$l_{\text{с.р.}}$ – длина сосковой резины, м.

Объем внутреннего пространства шлангов, соединяющих пульсатор с вакуумным распределителем на коллекторе:

$$V_{\text{шл.п.}} = \frac{n_{\text{шл.п.}} \pi d_{\text{шл.п.}}^2 l_{\text{шл.п.}}}{4}, \quad (6)$$

где $d_{\text{шл.п.}}$ – внутренний диаметр шланга пульсатора, м;

$n_{\text{шл.п.}}$ – количество шлангов, соединяющих пульсатор с вакуумным распределителем, шт. $n_{\text{шл.п.}}=2$ шт. в доильном аппарате попарного доения, в синхронного доения – $n_{\text{шл.п.}}=1$ шт.;

$l_{\text{шл.п.}}$ – длина шланга, соединяющего пульсатор с вакуумным распределителем, м.

Объем внутреннего пространства шланга, соеди-

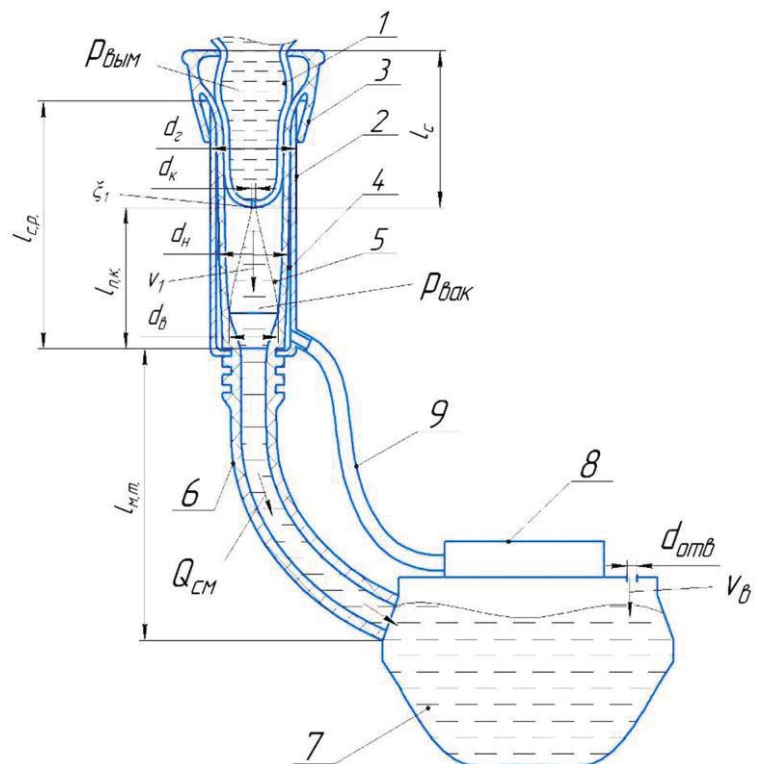


Рисунок 1. Схема к определению объемного расхода воздуха за цикл работы доильного аппарата:

- 1 – сосок вымени животного; 2 – гильза доильного стакана;
- 3 – сосковая резина; 4 – межстенная камера доильного стакана;
- 5 – подсосковая камера доильного стакана; 6 – молочная трубка;
- 7 – коллектор доильного аппарата; 8 – вакуумный распределитель;
- 9 – шланг, соединяющий вакуумный распределитель и межстенную камеру доильного стакана

няющего вакуумный распределитель и межстенную камеру доильного стакана:

$$V_{\text{шл.дс.}} = \frac{\pi d_{\text{шл.дс.}}^2 l_{\text{шл.дс.}}}{4}, \quad (7)$$

где $d_{\text{шл.дс.}}$ – внутренний диаметр шланга, соединяющего вакуумный распределитель и межстенную камеру доильного стакана, м;

$l_{\text{шл.дс.}}$ – длина шланга, соединяющего вакуумный распределитель и межстенную камеру доильного стакана, м.

Объемный расход молоковоздушной смеси, откачиваемой из подсосковой камеры доильного стакана, определим по формуле:

$$Q_{\text{см}} = Q_{\text{м}} + Q_{\text{в}}, \quad (8)$$

где $Q_{\text{м}}$ – объем молока, извлекаемый из соска вымени животного за время такта «сосание», м³/с;

$Q_{\text{в}}$ – объемный расход воздуха в подсосковой камере доильного стакана во время такта «сосание», м³/с.

Во время такта «сосание» молоко извлекается из соска через канал в подсосковую камеру доильного стакана. Тогда, объем молока, выдаиваемый из соска вымени животного за время такта «сосание», определим как расход жидкости через отверстие [9]:

$$Q_{\text{м}} = S_{\text{к}} \mu_1 v_1, \quad (9)$$

где $S_{\text{к}}$ – площадь канала соска в поперечном сечении, м²;

$\mu_1 = \varepsilon \cdot \varphi_1$ – коэффициент расхода молока на выходе из канала соска вымени животного;

v_1 – скорость истечения идеальной жидкости, м/с;

ε – коэффициент сжатия струи потока молока в канале соска вымени животного;

φ_1 – коэффициент скорости потока молока при извлечении из соска вымени животного.

Скорость истечения идеальной жидкости (рис. 1) определим по формуле [9]:

$$v_1 = \sqrt{2gH_{\text{в}}}, \quad (10)$$

где g – ускорение свободного падения, м/с²;

$H_{\text{в}}$ – вакуумметрический напор в подсосковой камере доильного стакана, м.

Так как вакуумметрический напор в подсосковой камере доильного стакана возникает за счет разности давлений в соске вымени животного l и подсосковой камере доильного стакана 5 (рис. 1), то его определим по формуле [10]:

$$H_{\text{в}} = \frac{(p_{\text{вак}} - p_{\text{вым}})}{\rho g}, \quad (11)$$

где $p_{\text{вак}}$ – вакуумметрическое давление в подсосковой камере доильного стакана, Па;

$p_{\text{вым.}}$ – величина внутривыменного давления животного, Па;

ρ – плотность молока, кг/м³.

Подставив численные значения: $p_{\text{атм}}=101,3$ Па [11]; $p_{\text{в}}=-40000$ Па... -50000 Па [5]; $\rho=1030$ кг/м³ [2]; $p_{\text{вым}}=9000$ Па [12]; $g=9,81$ м/с² в формулы (3) и (11), было установлено, что $H_{\text{в}}=4,19 \dots 5,18$ м в зависимости от величины вакуума в доильном аппарате.

Так как диаметр канала соска вымени животного, через который происходит выдаивание молока, равен $d_{\text{к}}=0,002$ м [13]. Тогда выполняется условие: $d_{\text{к}}=0,002$ м < 0,1 ($H_{\text{в}}=4,19 \dots 5,18$) м [9], при котором канал соска для гидравлических расчетов будет считаться малым отверстием.

Кроме того, длина канала соска вымени животного равна $l_{\text{к}}=0,014$ м [13], что отвечает условию $l_{\text{к}} > (2\dots3)d_{\text{к}}$ [9], при котором процесс выдаивания молока из соска вымени животного происходит как истечение через малое отверстие в толстой стенке.

С учетом формул (3) и (11) выражение (10) примет вид:

$$v_1 = \sqrt{2 \frac{(p_{\text{атм}} + p_{\text{в}} - p_{\text{вым}})}{\rho}}}. \quad (12)$$

Площадь канала соска вымени животного определим по формуле:

$$S_{\text{к}} = \frac{\pi d_{\text{к}}^2}{4}, \quad (13)$$

где $d_{\text{к}}$ – диаметр канала соска, м.

Подставив значение формул (12) и (13) в выражение (9), получим формулу для определения объема молока, выдаиваемого из соска вымени животного за время такта «сосание»:

$$Q_{\text{м}} = \frac{\pi d_{\text{к}}^2 \mu}{4} \sqrt{2 \frac{(p_{\text{атм}} + p_{\text{в}} - p_{\text{вым}})}{\rho}}}. \quad (14)$$

Значение коэффициента расхода молока на выходе из канала соска вымени животного μ зависит от числа Рейнольдса. В таком случае число Рейнольдса определим как для истечения через отверстие по формуле [9]:

$$\text{Re}_1 = \frac{d_{\text{к}} \sqrt{2gH_{\text{в}}}}{\tau}, \quad (15)$$

где τ – кинематический коэффициент вязкости молока, м²/с.

Кинематический коэффициент вязкости молока определим по формуле [14]:

$$\tau = \frac{\mu_{\text{м}}}{\rho}, \quad (16)$$

где $\mu_{\text{м}}$ – коэффициент динамической вязкости молока, Па·с.

С учетом формул (3) и (11), выражение (15) после преобразований примет вид:

$$Re_1 = \frac{d_k \sqrt{\rho}}{\mu_M} \sqrt{2((p_{атм} + p_B) - p_{вым})}. \quad (17)$$

Подставив численные значения: $d_k=0,002$ м [13]; $\rho=1030$ кг/м³ [2]; $\mu_M=0,0018$ Па·с [2]; $p_{атм}=101,3$ Па [11]; $p_B=40000$ Па... 50000 Па [5] в формулу (17), было установлено, что $Re=32,35...35,97$. Согласно полученному значению числа Рейнольдса, выберем значение коэффициента расхода при движении потока молока через канал соска из графической зависимости $\mu=0,6$ [15].

Во время такта «сосание» воздух из подсосковой камеры откачивается вакуумным насосом по молочной трубке. Тогда объемный расход воздуха в подсосковой камере доильного стакана во время такта «сосание» определим по формуле

$$Q_B = \frac{V_{п.к.}}{t_B}, \quad (18)$$

где t_B – продолжительность такта «сосание», с;
 $V_{п.к.}$ – объем подсосковой камеры, м³.

Так как сосковая резина имеет цилиндрическую форму (рис. 1), то объем подсосковой камеры определим по формуле:

$$V_{п.к.} = \frac{\pi d_B^2 (l_{с.р.} - l_c - l_{м.т.})}{4}, \quad (19)$$

где d_B – внутренний диаметр сосковой резины, м;
 $l_{с.р.}$ – длина сосковой резины, м;
 $l_{м.т.}$ – длина молочной трубки, м;
 l_c – длина соска вымени животного, м.

С учетом формулы (19) выражение (18) примет вид:

$$Q_B = \frac{\pi d_B^2 (l_{с.р.} - l_c - l_{м.т.})}{4 t_B}. \quad (20)$$

Подставив значения формул (5), (14) и (19) в выражение (8), получим формулу для определения объемного расхода молоковоздушной смеси, откачиваемой из подсосковой камеры доильного стакана:

$$Q_{см} = \frac{\pi}{4} \left[d_k^2 \mu \sqrt{\frac{2(p_{атм} + p_B - p_{вым})}{\rho}} + \frac{d_B^2 (l_{с.р.} - l_c - l_{м.т.})}{t_B} \right]. \quad (21)$$

Для ускорения процесса транспортировки молока из молокоборной камеры коллектора доильного аппарата в молокопровод, в корпусе коллектора выполнено калиброванное отверстие, соединяющее атмосферу с молокоборной камерой (рис. 1). Тогда, объемный расход воздуха через отверстие в корпусе коллектора доильного аппарата определим по формуле:

$$Q_K = \frac{\pi d_{отв}^2 \mu_{отв} v_B}{4}, \quad (22)$$

где $d_{отв}$ – диаметр отверстия в корпусе коллектора, м²;

$\mu_{отв}$ – коэффициент расхода воздуха через отверстие в корпусе коллектора;

v_B – скорость потока воздуха через отверстие в корпусе коллектора, м/с.

Скорость потока воздуха через отверстие в корпусе коллектора определим по формуле [10]:

$$v_B = \sqrt{\frac{2k}{k-1} \frac{p_{атм}}{\rho_0} \left[1 - \left(\frac{p_{вак}}{p_{атм}} \right)^{\frac{k-1}{k}} \right]}, \quad (23)$$

где ρ_0 – плотность воздуха при атмосферном давлении, кг/м³;

k – показатель адиабаты для воздуха, $k=1,4$.

Так как коэффициент расхода воздуха через отверстие в корпусе коллектора $\mu_{отв}$ определяется по графической зависимости от числа Рейнольдса, то число Рейнольдса для потока воздуха через отверстие в корпусе коллектора определим по формуле [9]

$$Re_B = \frac{d_{отв} \rho_B v_B}{\mu_B}, \quad (24)$$

где ρ_B – плотность воздуха при вакуумметрическом давлении в доильном аппарате, кг/м³;

μ_B – динамическая вязкость воздуха, Па·с.

Плотность воздуха при вакуумметрическом давлении в доильном аппарате определим по формуле [16]:

$$\rho_B = \rho_0 \left(\frac{p_{вак}}{p_{атм}} \right)^{\frac{1}{k}}. \quad (25)$$

С учетом формул (23) и (25) выражение (24) примет вид:

$$Re_B = \frac{d_{отв} \rho_0}{\mu_B} \left(\frac{p_{атм} + p_B}{p_{атм}} \right)^{\frac{1}{k}} \times \sqrt{\frac{2k}{k-1} \frac{p_{атм}}{\rho_0} \left[1 - \left(\frac{p_{атм} + p_B}{p_{атм}} \right)^{\frac{k-1}{k}} \right]}. \quad (26)$$

Подставив численные значения: $d_{отв}=0,001$ м; $\rho_0=1,22$ кг/м³ [17.]; $\mu_B=18,27 \cdot 10^{-6}$ Па·с [18]; $p_{атм}=101,3$ Па [11]; $p_B=40000$ Па... 50000 Па [5] в формулу (26), получим $Re_B=11944,6...12103,6$.

Согласно полученному значению числа Рейнольдса, выберем значение коэффициента расхода при движении потока молока через канал соска из графической зависимости $\mu=0,6$ [15].

Подставив значение формулы (23) в выражение (22), получим формулу для определения объемного

расхода воздуха через отверстие в корпусе коллектора доильного аппарата:

$$Q_k = \frac{\pi d_{\text{отв}}^2 \mu_{\text{отв}}}{4} \times \sqrt{\frac{2k}{k-1} \frac{p_{\text{атм}}}{\rho_0} \left[1 - \left(\frac{p_{\text{вак}}}{p_{\text{атм}}} \right)^{(k-1)/k} \right]} \quad (27)$$

С учетом выражений (5) ... (7), (21) и (27) выражение (4) примет вид:

$$Q_{\text{д.а.}} = \frac{\pi}{4} \left[n_{\text{д.с.}} \left(\frac{(d_{\Gamma} - d_{\text{н}})^2 l_{\text{с.р.}} + d_{\text{шл.дс.}}^2 l_{\text{шл.дс.}}}{t_A + t_B} + v_1 d_k^2 \mu + \frac{d_{\text{в}}^2 (l_{\text{с.р.}} - l_{\text{с}} - l_{\text{м.т.}})}{t_B} \right) + \frac{n_{\text{шл.п.}} d_{\text{шл.п.}}^2 l_{\text{шл.п.}}}{t_A + t_B} + d_{\text{отв}}^2 \mu_{\text{отв}} \nu_B \right] \quad (28)$$

Время машинного доения животного зависит от продолжительности выдаивания молока из вымени животного, времени затрачиваемого на вход/выход животного, а также продолжительности проведения санитарной обработки вымени и машинного доаивания.

Тогда, время машинного доения животного определим по формуле:

$$t_{\text{д}} = t_{\text{вх}} + t_{\text{подг}} + t_{\text{выд}} + t_{\text{закл}} + t_{\text{вых}} \quad (29)$$

где $t_{\text{вх}}$ – продолжительность входа животного в доильный станок, ч;

$t_{\text{подг}}$ – продолжительность санитарной обработки вымени и стимуляции молокоотдачи, ч;

$t_{\text{выд}}$ – время, затрачиваемое на выдаивание молока из вымени животного, ч;

$t_{\text{закл}}$ – продолжительность заключительных операций (машинное доаивание и снятие доильного аппарата с вымени животного), ч;

$t_{\text{вых}}$ – продолжительность выхода животного из доильного станка, ч.

Время, затрачиваемое на выдаивание молока из вымени животного, зависит от его продуктивности, соотношения тактов работы и величины вакуумметрического давления в доильном аппарате, которое определим по формуле:

$$t_{\text{выд}} = \frac{n_{\text{п}} t_{\text{п}}}{3600 n_{\text{д.с.}}} \quad (30)$$

где $n_{\text{п}}$ – количество пульсаций, совершаемых доильным аппаратом за время машинного доения животного, шт.;

$t_{\text{п}}$ – продолжительность пульсации доильного аппарата, с.

Количество пульсаций, совершаемых доильным аппаратом за время машинного доения животного, определим по формуле:

$$n_{\text{п}} = \frac{m_{\text{р}}}{\rho V_{\text{м}}} \quad (31)$$

где $V_{\text{м}}$ – объем молока, выдаиваемый за время такта «сосание», м³;

$m_{\text{р}}$ – разовый удой животного, кг.

Объем молока, выдаиваемый за время такта «сосание», определим по формуле:

$$V_{\text{м}} = Q_{\text{м}} t_{\text{в}} = \frac{\pi d_{\text{к}}^2 \mu_{\text{в}}}{4} \times \sqrt{\frac{2(p_{\text{атм}} + p_{\text{в}} - p_{\text{вым}})}{\rho}} \quad (32)$$

Процесс работы доильного аппарата состоит из тактов «сосание», «сжатие» и «отдых», которые вместе образуют пульсацию. Тогда продолжительность пульсации доильного аппарата определим по формуле:

$$t_{\text{п}} = \frac{60}{\chi_{\text{п}}} \quad (33)$$

где $\chi_{\text{п}}$ – частота пульсаций доильного аппарата, мин⁻¹.

Подставив значения формул (31) и (32) в выражение (30), после преобразований получим формулу для определения количества пульсаций, совершаемых доильным аппаратом за время машинного доения животного:

$$n_{\text{п}} = \frac{4m_{\text{р}}}{\rho \pi d_{\text{к}}^2 \mu_{\text{в}} t_{\text{в}} \chi_{\text{п}} \sqrt{\frac{2(p_{\text{атм}} + p_{\text{в}} - p_{\text{вым}})}{\rho}}} \quad (34)$$

С учетом формул (30), (33) и (34) выражение (29) после преобразований примет вид:

$$t_{\text{д}} = t_{\text{вх}} + t_{\text{подг}} + t_{\text{закл}} + t_{\text{вых}} + \frac{m_{\text{р}}}{15 n_{\text{д.с.}} \sqrt{\rho} \pi d_{\text{к}}^2 \mu_{\text{в}} \chi_{\text{п}} \sqrt{\frac{2(p_{\text{атм}} + p_{\text{в}} - p_{\text{вым}})}{\rho}}} \quad (35)$$

Подставив значения формул (3), (28) и (35) в выражение (1), получим формулу для определения удельной энергоемкости процесса машинного доения животного:

$$\mathcal{E}_1 = \frac{(p_{\text{атм}} + p_{\text{в}})}{\eta_{\text{н}} m_{\text{р}}} (t_{\text{вх}} + t_{\text{подг}} + t_{\text{закл}} + t_{\text{вых}} + t_{\text{выд}}) \times \left[n_{\text{д.с.}} \left(\frac{V_{\text{м.к.}} + V_{\text{шл.дс.}}}{t_A + t_B} + Q_{\text{см}} \right) + \frac{V_{\text{шл.п.}}}{t_A + t_B} + Q_{\text{к}} \right] \quad (36)$$

Из анализа формулы (36) видно, что удельная энергоёмкость процесса машинного доения зависит от величины вакуумметрического давления в доильном аппарате, конструктивных параметров доильного аппарата и частоты пульсаций доильного аппарата.

Подставим численные значения в формулу (36): $p_{\text{атм}}=101325$ Па [11]; $p_{\text{в}}=-40\dots-50$ кПа [5]; $\rho=1027$ кг/м³ [2]; $\alpha=1,1$ [10]; $d_{\text{к}}=0,002$ м [13]; $d_{\text{с.р.}}=0,026$ м [19]; $p_{\text{вым}}=9$ кПа [12]; $d_{\text{г}}=0,04$ м [19]; $d_{\text{н}}=0,025$ м [20]; $l_{\text{г}}=0,16$ м [21]; $d_{\text{шл.п.}}=0,007$ м [22]; $l_{\text{шл.п.}}=2,5$ м [22]; $n_{\text{шл.п.}}=2$ шт. [22]; $d_{\text{шл.дс.}}=0,007$ м [22]; $l_{\text{шл.дс.}}=0,18$ м [22]; $l_{\text{с.р.}}=0,29$ м [22]; $l_{\text{м.т.}}=0,16$ м [22]; $l_{\text{с}}=0,09$ м [19]; $\chi_{\text{г}}=50\dots80$ пульс./мин. [21]; $m_{\text{р}}=10$ кг; $t_{\text{вх}}=t_{\text{вых}}=0,00142$ ч [2]; $t_{\text{подг}}=t_{\text{закл}}=0,01$ [2] и рассчитаем значения удельной энергоёмкости процесса машинного доения в зависимости от величины вакуумметрического давления, частоты пульсаций и соотношения тактов работы доильного аппарата. По результатам расчетов построим графические зависимости, представленные на рисунках 2 и 3.

Анализ зависимостей, представленных на рисунке 2, показал, что удельная энергоёмкость процесса машинного доения увеличивается наряду с увеличением частоты пульсаций, вследствие увеличения расхода воздуха в процессе работы доильного аппарата, откачиваемого вакуумной установкой.

Анализ зависимостей, представленных на рисунке 3, показал, что при соотношении тактов «сосание» – «сжатие»: 50/50 удельные затраты энергии значительно возрастают, так как половину времени пульсации занимает такт «сжатие», при котором расходуется воздух на сжатие сосков вымени животного.

Заключение

Из анализа формулы (36) видно, что удельная энергоёмкость процесса машинного доения зависит от величины вакуумметрического давления в доильном аппарате, конструктивных параметров и частоты пульсаций доильного аппарата.

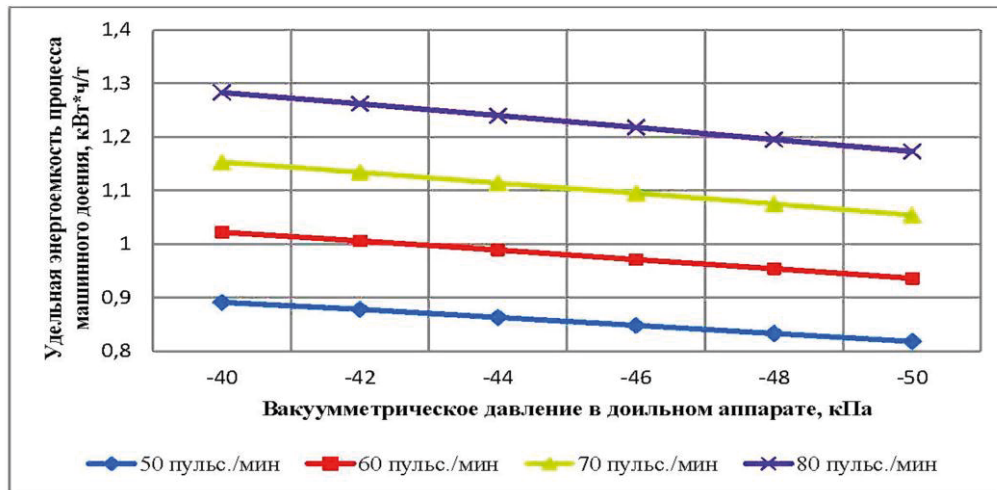


Рисунок 2. Зависимости удельной энергоёмкости процесса машинного доения от величины вакуумметрического давления и частоты пульсаций доильного аппарата

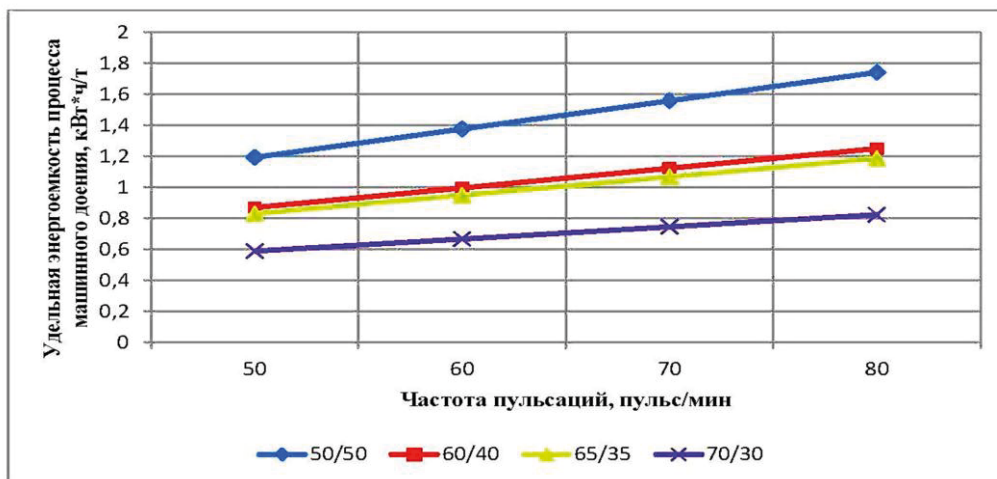


Рисунок 3. Зависимости удельной энергоёмкости процесса машинного доения от частоты пульсаций и соотношения тактов работы доильного аппарата

Полученные аналитические зависимости позволяют при проектировании доильного аппарата выбрать наиболее энергоэффективные параметры его работы с учетом продуктивности животного.

При анализе графических зависимостей, представленных на рисунке 2, было установлено, что наименьшая удельная энергоемкость процесса машинного доения животного составит 0,824 кВт·ч/т при частоте пульсаций 50 пульс/мин. и величине вакуумметрического давления 50 кПа.

Установлено, что наименьшая удельная энергоемкость процесса машинного доения животного составит 0,589 кВт·ч/т при частоте пульсаций 50 пульс/мин., соотношении тактов «сосание» – «сжатие»: 70/30 при величине вакуумметрического давления 43 кПа.

Удельная энергоемкость процесса машинного доения животного уменьшается с одновременным увеличением вакуумметрического давления в доильном аппарате, так как увеличение вакуума способствует увеличению скорости выдаивания и транспортировки молока, но увеличивает риск заболеваемости животного маститом.

Новизна предложенных аналитических зависимостей заключается в определении удельной энергоемкости процесса машинного доения животного с учетом величины вакуума, частоты пульсаций, конструктивных параметров доильного аппарата и продуктивности животного.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Машинное доение коров [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.activestudy.info/mashinoe-doenie-korov/>. – Дата доступа: 18.01.2021.
2. Передня, В.И. Технологии и оборудование для доения коров и первичной обработки молока: пособие / В.И. Передня, В.А. Шаршунов, А.В. Китун; под общ. ред. В.А. Шаршунова. – Минск: Минсанта, 2016. – 976 с.
3. Китун, А.В. Машины и оборудование в животноводстве: учебник / А.В. Китун, В.И. Передня, Н.Н. Романюк. – Минск: БГАТУ, 2019. – 502 с.
4. Бондарев, С.Н. Определение затрат энергии на эвакуацию молока из доильного стакана с учетом диаметра молочной трубки / С.Н. Бондарев, А.В. Китун, В.И. Передня // Агропанорама. – 2019. – №3. С. 2-5.
5. Китиков, В.О. Анализ эффективности эксплуатации доильных машин с рабочим вакуумом 43 и 48 кПа / В.О. Китиков, И.Н. Таркановский // Механизация и электрификация сельского хозяйства: сборник статей / РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства»; редкол.: П.П. Казакевич [и др.]. – Минск, 2008. – С. 171-176.
6. Бахчевиков, О.Н. Характеристики и параметры вакуумных пульсаторов для стойловых доильных автоматов: дис. ... канд. техн. наук: 05.20.01 / О.Н. Бахчевиков. – Зерноград, 2014. – 190 с.
7. Мишуров, Н.П. Биоэнергетическая оценка и основные направления снижения энергоемкости производства молока: научн. изд. / Н.П. Мишуров. – М: Росинформагротех, 2010. – 152 с.
8. Энергоресурсосбережение в животноводстве / Н.С. Яковчик [и др.]. – Минск: Дэбор, 1998. – 291 с.
9. Калекин, А.А. Гидравлика и гидравлические машины: учеб. пособие для студентов вузов / А.А. Калекин. – М.: Мир, 2005. – 512 с.
10. Зезин, В.Г. Механика жидкости и газа: учеб. пособие / В.Г. Зезин. – Челябинск: ЮУрГУ, 2016. – 250 с.
11. Хабутдинов, Ю.Г. Учение об атмосфере: учебное пособие / Ю.Г. Хабутдинов, К.М. Шанталинский, А.А. Николаев. – Казань: КГУ, 2010. – 257 с.
12. Белявский, В.Н. Физиология лактации: учеб. пособие / В.Н. Белявский, М.Г. Величко. – Гродно: ГГАУ, 2012. – 31 с.
13. Гарькавый, Ф.Л. Селекция коров и машинное доение / Ф.Л. Гарькавый. – М.: Колос, 1974. – 146 с.
14. Комаровский, Д.П. Механика жидкости и газа: учеб.-метод. комплекс / Д.П. Комаровский, В.К. Липский. – Новополоцк: ПГУ, 2008. – 356 с.
15. Гидравлика, гидромашины и гидроприводы: учебник для машиностроительных вузов / Т.М. Башта [и др.]. – М: Альянс, 2010. – 423 с.
16. Рылов, А.А. Экспериментально-теоретические исследования движения молока и воздуха в молоководящем тракте доильного аппарата / А.А. Рылов, П.А. Савиных, В.Н. Шулятьев // Аграрная наука Евро – Северо – Востока. – 2020. – № 5. – С. 614-624.
17. Башкатов, А.Н. Определение молярной массы и плотности воздуха / А.Н. Башкатов, В.П. Левченко, Н.Б. Пушкарева. – Екатеринбург: УрФУ, 2015. – 12 с.
18. Рогачев, Н.М. Определение вязкости воздуха капиллярным методом / Н.М. Рогачев, В.А. Гусев. – Самара: СГАУ, 2012. – 13 с.
19. Королев, В.Ф. Доильные машины. Теория, конструкция и расчет / В.Ф. Королев. – М.: Машиностроение, 1969. – 140 с.
20. Доильный стакан [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://agroservers.ru/b/doilnyy-stakan-377405.htm>. – Дата доступа: 26.01.2021.
21. Карташов, Л.П. Машинное доение коров: учеб. пособие для сред. сел. проф.-техн. училищ / Л.П. Карташов, Ю.Ф. Куранов. – 3-е изд., испр. и доп. – М.: Высшая школа, 1980. – 223 с.
22. Молочные системы: техн. каталог / ОАО «Гомельагрокомплект». – Гомель, 2020. – 45 с.

ПОСТУПИЛА В РЕДАКЦИЮ 18.02.2021