

УДК 631.116.2

С. Н. Бондарев

Учреждение образования «Белорусский государственный аграрный технический университет»,
пр-т Независимости, 99, 220023 Минск, Республика Беларусь, +375 (29) 899 80 92,
seregabondarev1991@yandex.ru

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОТРЕБНОЙ МОЩНОСТИ НА ПРОЦЕСС МАШИННОГО ДОЕНИЯ КОРОВЫ

Целью данной работы является теоретическое исследование по определению потребной мощности на процесс машинного доения в зависимости от конструктивных и технологических параметров доильного аппарата. Новизна работы заключается в получении аналитических выражений по определению потребной мощности на процесс машинного доения коровы с учетом ее молокоотдачи, а также конструктивных и технологических параметров доильной установки.

Введение содержит краткую информацию об анализе энергопотребления отрасли животноводства и, в частности, ферм для содержания крупного рогатого скота. В основной части работы проведено теоретическое исследование по определению потребной мощности на выдаивание молока из вымени коровы и его транспортировку в молокоприемник доильной установки с учетом ее конструктивных параметров.

Установлено, что потребная мощность на процесс машинного доения коровы $N_{д1} = 0,105$ кВт в двухтактном доильном аппарате и $N_{д2} = 0,1226$ кВт — в трех- и четырехтактном при $p_b = 40$ кПа, $\chi_{т} = 60$ мин⁻¹, соотношении тактов 60/40.

Результаты исследований будут полезны при разработке конструкций доильных аппаратов для выбора наиболее энергоэффективных параметров работы с учетом интенсивности молокоотдачи животного.

Ключевые слова: доильный аппарат; молоко; вакуумметрическое давление; сосковая резина; потребная мощность; молокоотдача; животноводство.

Рис. 2. Библиогр.: 4 назв.

S. N. Bondarev

Educational Institution “Belarusian State Agrarian Technical University”, 99 Nezavisimosti Prospect,
220023 Minsk, the Republic of Belarus, +375 (29) 899 80 92, seregabondarev1991@yandex.ru

DETERMINATION OF THE REQUIRED POWER FOR THE MACHINE COW MILKING PROCESS

The purpose of the work is theoretical research in determining the required power for the process of machine milking, depending on the design and technological parameters of the milking machine. The novelty of the work is in obtaining analytical expressions to determine the required power for the process of machine cow milking, taking into account its milk output, as well as the design and technological parameters of the milking unit.

The introduction contains brief information on the analysis of energy consumption of the livestock industry and, in particular, cattle farms. In the main part of the work, theoretical studies were carried out to determine the required capacity for milking milk from the udder of a cow and its transportation to the milking machine receiver, taking into account its design parameters.

It is established that the required power for the process of machine cow milking is $N_{д1} = 0.105$ kW in a two-stroke milking machine and $N_{д2} = 0.1226$ kW in a three-four-stroke at $p_b = 40$ kPa, $\chi_{т} = 60$ min⁻¹, the ratio of cycles 60/40.

The results of the research will be useful in the development of milking machine designs for selecting the most energy-efficient operation parameters, taking into account the intensity of the animal's milk output.

Key words: milking machine; milk; vacuum pressure; nipple rubber; required capacity; milk output; animal husbandry.
Fig. 2. Ref.: 4 titles.

Введение. Анализ энергопотребления по отраслям сельского хозяйства показывает, что отрасль животноводства является одним из основных потребителей энергии в сельском хозяйстве, на долю которого приходится 17...21 % общих энергозатрат, более 50 % от которых приходится на фермы для содержания крупного рогатого скота, где одним из основных потребителей энергии является процесс машинного доения [1].

Целью данной работы является теоретическое исследование по определению потребной мощности на процесс машинного доения от конструктивных и технологических параметров доильного аппарата.

Материалы и методы исследования. Машинное доение — технологический процесс, при котором выдаивание молока из сосков вымени коровы осуществляется в доильном аппарате с последующей транспортировкой молока в молокоприемник доильной установки за счет вакуумметрического давления, создаваемого вакуумным насосом. Тогда потребную мощность электродвигателя на привод вакуумного насоса в общем виде определим по формуле

$$N_{\text{д}} = N_{\text{выд}} + N_{\text{тр}}, \quad (1)$$

где $N_{\text{выд}}$ — потребная мощность на выдаивание молока из вымени коровы, кВт;

$N_{\text{тр}}$ — потребная мощность на транспортировку молока из доильного аппарата в молокоприемник доильной установки, кВт.

Потребную мощность на выдаивание молока из вымени коровы в общем виде определим по формуле

$$N_{\text{выд}} = \frac{Q_{\text{выд}} p_{\text{в}} n_{\text{д. а}}}{1000 \eta_{\text{н}}}, \quad (2)$$

где $Q_{\text{выд}}$ — объемная подача молока и воздуха, откачиваемая из доильного аппарата вакуумным насосом, м³/с;

$p_{\text{в}}$ — вакуумметрическое давление в доильной установке, Па;

$n_{\text{д. а}}$ — количество доильных аппаратов в доильной установке, шт.;

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

Так как выдаивание молока из сосков вымени коровы происходит за счет разницы давлений в вымени и подсосковых камерах доильных стаканов, интенсивность потока молока, извлекаемого из соска вымени коровы, определим как для расхода жидкости через отверстие [2, с. 203]:

$$Q_{\text{м}} = \frac{\pi d_{\text{к}}^2 \mu_1}{4} \sqrt{\frac{2(p_{\text{в}} - p_{\text{вым}})}{\rho}}, \quad (3)$$

где $d_{\text{к}}$ — диаметр канала соска вымени коровы, м;

μ_1 — коэффициент расхода молока для канала соска вымени коровы;

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

ρ — плотность молока, кг/м³.

Во время такта «сосание» в доильном аппарате происходит откачка воздуха вакуумным насосом из межстенных камер доильных стаканов с величины атмосферного давления до значения вакуумметрического. Тогда объем воздуха в межстенной камере доильного стакана при величине вакуумметрического давления определим с учетом его конструктивных параметров и величины прогиба стенок сосковой резины по формуле

$$V_{м.к2} = \frac{\pi}{4} (d_{г}^2 l_{г} - \delta_{с.р}^2 l_{г} - d_{с}^2 (l_{с} - l_{пр})) + \pi \delta_{с.р} d_{в} \left[(l_{м.т} + l_{пр} - l_{с.р}) + l_{с} + \frac{(l_{с}^3 - (l_{м.т} + l_{пр} - l_{с.р})^3)}{3(l_{с.р} - l_{м.т} - l_{с})^2} \right], \quad (4)$$

где $d_{г}$ — внутренний диаметр гильзы доильного стакана, м;
 $l_{г}$ — длина гильзы доильного стакана, м;
 $\delta_{с.р}$ — толщина стенки сосковой резины, м;
 $d_{с}$ — диаметр соска вымени коровы, м;
 $l_{с}$ — длина соска вымени животного, м;
 $d_{в}$ — внутренний диаметр сосковой резины, м;
 $l_{м.т}$ — длина молочной трубки, м;
 $l_{пр}$ — длина присоска сосковой резины, м;
 $l_{с.р}$ — длина сосковой резины, м.

Тогда объем воздуха, откачиваемый вакуумным насосом из межстенной камеры доильного стакана во время такта «сосание», определим с учетом формулы (4) и конструктивных параметров доильного стакана:

$$V_{м.к1} = \frac{\pi}{4} (d_{г}^2 l_{г} - \delta_{с.р}^2 l_{г} - d_{с}^2 (l_{с} - l_{пр}) - l_{г} (d_{г}^2 - d_{н}^2)) + \pi \delta_{с.р} d_{в} \times \left[(l_{м.т} + l_{пр} - l_{с.р}) - l_{с} - \frac{1}{3l_{п.к}^2} (l_{с}^3 - (l_{м.т} + l_{пр} - l_{с.р})^3) \right]. \quad (5)$$

Объем воздуха, откачиваемый вакуумным насосом из шланга, соединяющего вакуум-распределитель и межстенную камеру доильного стакана, определим как разницу объемов, занимаемых воздухом при вакуумметрическом и атмосферном давлениях:

$$V_{шл.дс1} = \frac{\pi d_{шл.дс}^2 l_{шл.дс}}{4} \left(\frac{p_{атм}}{(p_{атм} - p_{в})} - 1 \right), \quad (6)$$

где $d_{шл.дс}$ — внутренний диаметр шланга, соединяющего вакуум-распределитель и межстенную камеру доильного стакана, м;
 $l_{шл.дс}$ — длина шланга, соединяющего вакуум-распределитель и межстенную камеру доильного стакана, м;
 $p_{атм}$ — величина атмосферного давления, Па.

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

$$Q_{к} = \frac{\pi d_{отв}^2 \mu_{отв}}{4} \sqrt{\frac{2k}{k+1} \frac{p_{атм}}{\rho_0} \left[1 - \frac{\rho_0 (p_{атм} - p_{в})}{\rho_{в} p_{атм}} \right]}, \quad (7)$$

где $d_{отв}$ — диаметр отверстия в корпусе коллектора, м;
 $\mu_{отв}$ — коэффициент расхода воздуха через отверстие в корпусе коллектора;
 k — показатель адиабаты для воздуха;
 ρ_0 — плотность воздуха при атмосферном давлении, кг / м³;
 $\rho_{в}$ — плотность воздуха при вакуумметрическом давлении в доильном аппарате, кг / м³.

Тогда с учетом формул (3), (5)...(7) объемную подачу молока и воздуха, откачиваемых из доильного аппарата вакуумным насосом, определим по формуле

$$Q_{\text{выд1}} = n_{\text{д.с}} \left[\frac{\pi d_{\text{к}}^2 \mu_1 v_1}{4} + \frac{V_{\text{м.к1}} + V_{\text{шл.дс1}}}{t_{\text{А}}} \right] + \frac{\pi d_{\text{отв}}^2 \mu_{\text{отв}} v_{\text{в}}}{4}, \quad (8)$$

где $n_{\text{д.с}}$ — количество одновременно работающих доильных стаканов, шт.;

v_1 — скорость истечения молока через канал соска вымени коровы, м / с;

$v_{\text{в}}$ — скорость потока воздуха через отверстие в корпусе коллектора, м / с.

В трехтактном доильном аппарате во время такта «сосание» воздух откачивается из подсосковой и межстенной камер доильного стакана до величины вакуумметрического давления, после чего происходит извлечение молока из соска вымени животного и его транспортировка в коллектор доильного аппарата, откуда его транспортировка в молокопровод ускоряется поступлением воздуха через калиброванное отверстие в коллекторе. Тогда формула для определения объемной подачи молока и воздуха для трехтактного доильного аппарата примет следующий вид:

$$Q_{\text{выд2}} = n_{\text{д.с}} \left[\frac{\pi d_{\text{к}}^2 \mu_1 v_1}{4} + \frac{(V_{\text{м.к1}} + V_{\text{шл.дс1}} + V_{\text{п.к1}})}{t_{\text{А}}} \right] + \frac{\pi d_{\text{отв}}^2 \mu_{\text{отв}} v_{\text{в}}}{4}, \quad (9)$$

где $V_{\text{п.к1}}$ — объем воздуха, откачиваемый вакуумным насосом из подсосковой камеры доильного стакана, м³.

Затраты мощности на выдаивание молока в двухтактном доильном аппарате определим с учетом формулы (8):

$$N_{\text{выд1}} = \frac{p_{\text{в}} n_{\text{д.а}}}{1000 \eta_{\text{н}}} \left[n_{\text{д.с}} \left(\frac{\pi d_{\text{к}}^2 \mu_1 v_1}{4} + \frac{V_{\text{м.к1}} + V_{\text{шл.дс1}}}{t_{\text{А}}} \right) + \frac{\pi d_{\text{отв}}^2 \mu_{\text{отв}} v_{\text{в}}}{4} \right]. \quad (10)$$

Затраты мощности на выдаивание молока в трех- и четырехтактном доильных аппаратах определим с учетом выражения (9) по формуле

$$N_{\text{выд2}} = \frac{p_{\text{в}} n_{\text{д.а}}}{1000 \eta_{\text{н}}} \left[n_{\text{д.с}} \left(\frac{V_{\text{м.к1}} + V_{\text{шл.дс1}} + V_{\text{п.к1}}}{t_{\text{А}}} \right) + \frac{\pi d_{\text{отв}}^2 \mu_{\text{отв}} v_{\text{в}}}{4} \right]. \quad (11)$$

При анализе формул (10) и (11) было установлено, что потребная мощность, затрачиваемая на выдаивание молока, зависит от величины вакуумметрического давления в доильном аппарате и его конструктивных параметров.

В процессе машинного доения коров в доильной установке выдоенное молоко с воздухом транспортируется из подсосковых камер доильных стаканов по молочным трубкам в коллектор доильного аппарата и далее по молочному шлангу в молокопровод, по которому транспортируется в молокоприемник доильной установки.

Тогда объем молоковоздушной смеси, поступающей в молокоприемник доильной установки в единицу времени, определим для двухтактного доильного аппарата с учетом формул (3) и (7):

$$Q_{\text{см1}} = \frac{\pi n_{\text{д.а}}}{4} \left(\frac{n_{\text{д.с}} d_{\text{к}}^2 \mu_1 t_{\text{в}} \chi_{\text{п}} v_1}{60} + d_{\text{отв}}^2 \mu_{\text{отв}} v_{\text{в}} \right), \quad (12)$$

где $t_{\text{в}}$ — продолжительность такта «сосание», с;

$\chi_{\text{п}}$ — частота пульсаций, мин⁻¹.

Так как в трех- и четырехтактных доильных аппаратах с выдоенным молоком также происходит и откачка воздуха из подсосковых камер доильных стаканов до величины вакуумметрического давления, то формула для определения объема молоковоздушной смеси, поступающей в молокоприемник доильной установки в единицу времени при трех- и четырехтактном доении, с учетом формул (3), (7) и (9) примет следующий вид:

$$Q_{см2} = \frac{\pi n_{д.а}}{4} \left(\frac{n_{д.с} \chi_{п}}{60} \left(d_k^2 \mu_1 t_B v_1 + d_B^2 (l_{с.р} - l_c - l_{м.т}) \left(\frac{p_{атм}}{(p_{атм} - p_B)} - 1 \right) \right) + d_{отв}^2 \mu_{отв} v_B \right). \quad (13)$$

При движении потока молока из подсосковых камер доильных стаканов в коллектор доильного аппарата возникают потери вакуумметрического давления, вызванные местными гидравлическими сопротивлениями. Тогда формулу для определения местных потерь вакуумметрического давления на гидравлические сопротивления при движении потока молока из подсосковых камер доильных стаканов в коллектор доильного аппарата определим как для потока жидкости при движении по трубопроводу [3, с. 128]:

$$\Delta p_{1-2}^M = \frac{\rho (v_1^2 - v_2^2)}{2}, \quad (14)$$

где v_2 — скорость потока молока на выходе из молочной трубки, м / с.

Скорость потока молока на выходе из молочной трубки определим как для потока жидкости при движении по трубопроводу [4, с. 117]:

$$v_2 = \sqrt{\frac{2(p_B - p_{вым})}{\rho(\alpha + \xi_{п.с} + \xi_{вых})}}, \quad (15)$$

где α — коэффициент Кориолиса;

$\xi_{п.с}$ — коэффициент местных сопротивлений, обуславливающий постепенное сужение диаметра сосковой резины в месте ее соединения с молочной трубкой;

$\xi_{вых}$ — коэффициент местных сопротивлений, обуславливающий выход потока молока из молочной трубки в коллектор.

С учетом формулы (15) выражение (14) примет следующий вид:

$$\Delta p_{1-2}^M = (p_B - p_{вым}) \left(1 - \frac{1}{(\alpha + \xi_{п.с} + \xi_{вых})} \right). \quad (16)$$

Потери давления по длине молочной трубки при движении потока молока из подсосковой камеры доильного стакана в коллектор доильного аппарата определим по формуле Дарси—Вейсбаха [4, с. 155]:

$$\Delta p_{1-2}^{ДВ} = \frac{\lambda_1 l_{м.т} v_2^2}{2g d_{м.т}}, \quad (17)$$

где λ_1 — коэффициент гидравлических потерь на трение по длине молочной трубки;

$l_{м.т}$ — длина молочной трубки, м;

g — ускорение свободного падения, м / с²;

$d_{м.т}$ — внутренний диаметр молочной трубки, м.

Тогда суммарные потери вакуумметрического давления при движении потока молока из подсосковых камер доильных стаканов в коллектор доильного аппарата определим как сумму выражений (17) и (16) с учетом геометрических напоров:

$$\Delta p_{1-2} = (p_B - p_{\text{ВЫМ}}) \left(\frac{1}{(\alpha + \xi_{\text{п.с}} + \xi_{\text{ВЫХ}})} \left(\frac{0,316 l_{\text{м.т}}}{\sqrt[4]{\text{Re}_1 g d_{\text{м.т}} \rho}} - 1 \right) + 1 \right) + (z_2 - z_1) g \rho, \quad (18)$$

где z_2 — высота расположения коллектора доильного аппарата, м;

z_1 — высота расположения доильных стаканов, м.

Из коллектора доильного аппарата молоко за счет вакуумметрического давления транспортируется по молочному шлангу в молокопровод доильной установки. Тогда формула для определения местных потерь вакуумметрического давления при движении потока молоко-воздушной смеси из коллектора в молокопровод примет следующий вид:

$$\Delta p_{2-3}^{\text{м}} = \frac{\rho_{\text{см}} (v_3^2 - v_4^2)}{2}, \quad (19)$$

где $\rho_{\text{см}}$ — плотность молоковоздушной смеси, кг / м³;

v_3 — скорость потока молоковоздушной смеси на входе в молочный шланг, м / с;

v_4 — скорость потока молоковоздушной смеси на входе в молокопровод, м / с.

Так как молоковоздушная смесь движется из коллектора в молокопровод за счет разности давлений, то скорость потока молоковоздушной смеси на входе в молочный шланг определим по формуле

$$v_3 = \sqrt{\frac{2(p_B - \Delta p_{1-2})}{\rho_{\text{см}}}}. \quad (20)$$

Молоко, транспортируемое в молокопровод, смешивается с воздухом, поступающим через калиброванное отверстие в корпусе коллектора. Тогда плотность молоковоздушной смеси определим с учетом формул (3) и (7):

$$\rho_{\text{см}} = \frac{n_{\text{д.с}} \rho d_{\text{к}}^2 \mu_1 v_1 + \rho_{\text{в}} d_{\text{отв}}^2 \mu_{\text{отв}} v_{\text{в}}}{n_{\text{д.с}} d_{\text{к}}^2 \mu_1 v_1 + d_{\text{отв}}^2 \mu_{\text{отв}} v_{\text{в}}}. \quad (21)$$

Подставив значения формулы (21) в выражение (20), получим формулу для определения скорости потока молоковоздушной смеси на входе в молочный шланг:

$$v_3 = \sqrt{\frac{2(p_B - \Delta p_{1-2}) (n_{\text{д.с}} \rho d_{\text{к}}^2 \mu_1 v_1 + \rho_{\text{в}} d_{\text{отв}}^2 \mu_{\text{отв}} v_{\text{в}})}{n_{\text{д.с}} d_{\text{к}}^2 \mu_1 v_1 + \rho_{\text{в}} d_{\text{отв}}^2 \mu_{\text{отв}} v_{\text{в}}}}. \quad (22)$$

Скорость потока молоковоздушной смеси на выходе из молочного шланга в молокопровод определим по формуле

$$v_4 = \varphi_2 v_3, \quad (23)$$

где φ_2 — коэффициент скорости потока молоковоздушной смеси при движении по молочному шлангу, определяемый по формуле

$$\varphi_2 = \frac{1}{\sqrt{\alpha + \xi_{\text{ВЫХ}}}}. \quad (24)$$

С учетом формул (18), (23) и (24) выражение (19) примет следующий вид:

$$\Delta p_{2-3}^M = (p_B - \Delta p_{1-2}) \left(1 - \frac{1}{(\alpha + \xi_{\text{ВЫХ}})} \right). \quad (25)$$

Потери давления по длине молочного шланга при движении потока молоковоздушной смеси из коллектора в молокопровод определим по формуле

$$\Delta p_{2-3}^{\text{дл}} = \frac{\lambda_2 l_{\text{м. шл}} v_3^2}{2gd_{\text{м. шл}}}, \quad (26)$$

где λ_2 — коэффициент потерь на трение по длине молочного шланга;

$l_{\text{м. шл}}$ — длина молочного шланга, м.

$d_{\text{м. шл}}$ — диаметр молочного шланга доильной установки, м.

Суммарные потери вакуумметрического давления при движении потока молоковоздушной смеси из коллектора в молокопровод определим с учетом выражений (26), (22), (25) и геометрических напоров:

$$\Delta p_{2-3} = (p_B - \Delta p_{1-2}) \left(1 - \frac{1}{(\alpha + \xi_{\text{ВЫХ}})} \right) + \frac{0,316 \Delta p_{1-2} l_{\text{м. шл}}}{\rho_{\text{см}} g d_{\text{м. шл}} \sqrt[4]{\text{Re}_2}} + (z_3 - z_2) g \rho_{\text{см}}, \quad (27)$$

где Re_2 — число Рейнольдса для потока молока при движении по молочному шлангу доильного аппарата;

z_3 — высота расположения молокопровода, м;

z_2 — высота расположения коллектора, м.

Так как транспортировка молоковоздушной смеси в молокоприемник осуществляется по молокопроводу, то потери вакуумметрического давления при движении потока молоковоздушной смеси в молокоприемник доильной установки определим как потери по длине молокопровода:

$$\Delta p_{3-4} = \frac{\lambda_3 l_{\text{м. пр}} v_5^2}{2gd_{\text{м. пр}}}, \quad (28)$$

где λ_3 — коэффициент потерь на трение по длине молокопровода;

$l_{\text{м. пр}}$ — длина молокопровода, м;

v_5 — скорость потока молоковоздушной смеси в молокопроводе, м / с;

$d_{\text{м. пр}}$ — диаметр молокопровода, м.

Скорость потока молоковоздушной смеси в молокопроводе определим как для потока жидкости при движении по трубопроводу за счет разности давлений:

$$v_5 = \sqrt{\frac{2(p_B - \Delta p_{2-3})}{\rho_{\text{см}} (\alpha + \xi_{\text{ВЫХ}} + \xi_{\text{ПОВ}})}}. \quad (29)$$

Суммарные потери вакуумметрического давления при движении потока молоковоздушной смеси из подсосковых камер доильного стакана в молокоприемник доильной установки определим как сумму выражений (27), (28) и (18):

$$\Delta p_B = n_{д.а} \left[\frac{0,316 l_{м.т} (p_B - p_{вым})}{\sqrt[4]{Re} g d_{м.т} \rho (\alpha + \xi_{п.с} + \xi_{вых})} + \frac{1}{2} \left(\frac{\lambda_2 l_{м.шл} v_3^2}{g d_{м.шл}} + \rho (v_1^2 - v_2^2) + \rho_{см} (v_3^2 - v_4^2) + g (\rho_{см} (z_3 - z_2) + \rho (z_2 - z_1)) \right) \right] + \frac{0,316 l_{м.пр} (p_B - \Delta p_{2-3})}{\rho_{см} g d_{м.пр} (\alpha + \xi_{вых} + \xi_{пов}) \sqrt[4]{Re_3}}. \quad (30)$$

Тогда затраты мощности вакуумного насоса на транспортировку молока из подсосковых камер доильных стаканов в молокоприемник доильной установки при двухтактном доении определим с учетом формул (30) и (12):

$$N_{тр1} = \frac{\pi n_{д.а} (n_{д.а} (\Delta p_{1-2} + \Delta p_{2-3}) + 2\Delta p_{3-4})}{4000 \eta_H} \left(\frac{n_{д.с} d_K^2 \mu_1 t_B \chi_{п} v_1}{60} + d_{отв}^2 \mu_{отв} v_B \right). \quad (31)$$

Затраты мощности на транспортировку молока из подсосковых камер доильных стаканов в молокоприемник доильной установки при трех- и четырехтактном доении определим с учетом выражений (30) и (13):

$$N_{тр2} = \frac{\pi n_{д.а} (n_{д.а} (\Delta p_{1-2} + \Delta p_{2-3}) + 2\Delta p_{3-4})}{4000 \eta_H} \times \left(\frac{n_{д.с} \chi_{п}}{60} \left(d_K^2 \mu_1 t_B v_1 + d_B^2 (l_{с.р} - l_c - l_{м.т}) \left(\frac{p_{атм}}{(p_{атм} - p_B)} - 1 \right) \right) + d_{отв}^2 \mu_{отв} v_B \right). \quad (32)$$

Анализ формул (31) и (32) показал, что необходимая мощность на транспортировку молока из подсосковых камер доильных стаканов в молокоприемник доильной установки зависит от конструкции доильной установки, величины вакуумметрического давления, высоты расположения молокопровода относительно доильной площадки, частоты пульсаций и конструкции вакуумного насоса.

Результаты исследования и их обсуждение. Подставив значения формул (31), (2) и (10) в выражение (1), после математических преобразований получим формулу для определения потребляемой мощности на процесс машинного доения коровы двухтактным доильным аппаратом:

$$N_{д1} = \frac{n_{д.а}}{1000 \eta_H} \left[p_B \left[n_{д.с} \left(\frac{\pi d_K^2 \mu_1 v_1}{4} + \frac{V_{м.к1} + V_{шл.дс1}}{t_A} \right) + \frac{\pi d_{отв}^2 \mu_{отв} v_B}{4} \right] + \frac{\pi (n_{д.а} (\Delta p_{1-2} + \Delta p_{2-3}) + 2\Delta p_{3-4})}{4} \left(\frac{n_{д.с} d_K^2 \mu_1 t_B \chi_{п} v_1}{60} + d_{отв}^2 \mu_{отв} v_B \right) \right]. \quad (33)$$

Для трех- и четырехтактного доильных аппаратов формула по определению потребляемой мощности на процесс машинного доения коровы с учетом выражений (31), (2) и (11) примет следующий вид:

$$N_{д2} = \frac{n_{д.а}}{1000 \eta_H} \left[p_B \left[n_{д.с} \left(\frac{V_{м.к1} + V_{шл.дс1} + V_{п.к1}}{t_A} \right) + \frac{\pi d_{отв}^2 \mu_{отв} v_B}{4} \right] + \frac{\pi \Delta p_B}{4} \left(\frac{n_{д.с} \chi_{п}}{60} \left(d_K^2 \mu_1 t_B v_1 + d_B^2 (l_{с.р} - l_c - l_{м.т}) \left(\frac{p_{атм}}{(p_{атм} - p_B)} - 1 \right) \right) + d_{отв}^2 \mu_{отв} v_B \right) \right]. \quad (34)$$

Подставив численные значения конструктивных и технологических параметров доильной установки в формулы (33) и (34), получим графические зависимости потребной мощности на процесс машинного доения коровы от величины вакуумметрического давления в доильном аппарате (рисунки 1, 2).

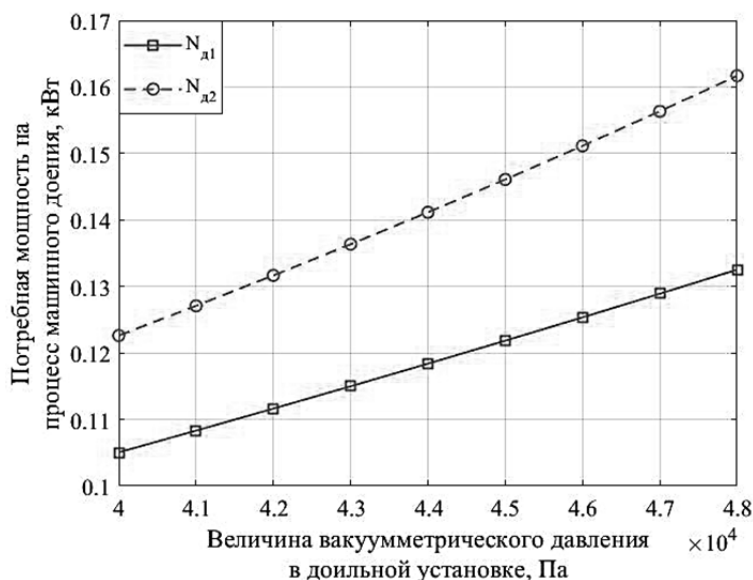


Рисунок 1. — Зависимость потребной мощности на процесс машинного доения коровы от величины вакуумметрического давления в доильном аппарате при $\chi_{п} = 60 \text{ мин}^{-1}$ и соотношении тактов 60/40

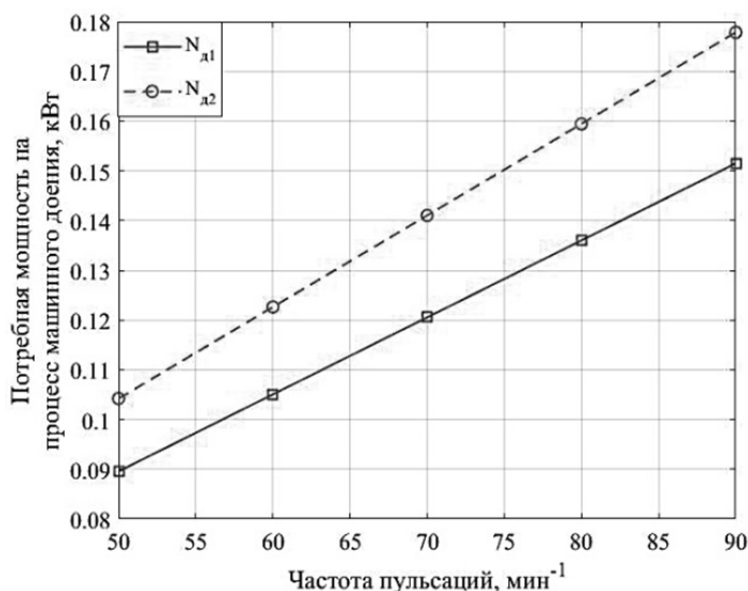


Рисунок 2. — Зависимость потребной мощности на процесс машинного доения коровы от частоты пульсаций в доильном аппарате при $p_{в} = 40 \text{ кПа}$ и соотношении тактов 60/40

Заключение. При анализе графических зависимостей, представленных на рисунках 1 и 2, было установлено, что потребная мощность на процесс машинного доения коровы находится в пределах 0,09...0,18 кВт на один доильный аппарат. Увеличение потребной мощности на процесс машинного доения коровы с повышением величины вакуумметрического давления и частоты пульсаций происходит из-за увеличения расхода воздуха в доильном аппарате.

Установлено, что потребная мощность на процесс машинного доения коровы $N_{д1} = 0,105$ кВт в двухтактном доильном аппарате и $N_{д2} = 0,1226$ кВт — в трех- и четырехтактном при $p_v = 40$ кПа, $\chi_d = 60$ мин⁻¹, соотношении тактов 60/40.

Список цитированных источников

1. Мишуров, Н. П. Биоэнергетическая оценка и основные направления снижения энергоемкости производства молока / Н. П. Мишуров. — М. : Росинформагротех, 2010. — 152 с.
2. Калекин, А. А. Гидравлика и гидравлические машины : учеб. пособие для студентов вузов / А. А. Калекин. — М. : Мир, 2005. — 512 с.
3. Зезин, В. Г. Механика жидкости и газа : учеб. пособие / В. Г. Зезин. — Челябинск : Издат. центр ЮУрГУ, 2016. — 250 с.
4. Гидравлика, гидромашин и гидроприводы : учеб. для машиностр. вузов / Т. М. Башта [и др.]. — М. : Альянс, 2010. — 423 с.

Поступила в редакцию 22.03.2022.