

УДК 637.116

МОДЕЛЮВАННЯ РОБОТИ ДОЇЛЬНОГО АПАРАТА З КОЛЕКТОРОМ АДАПТИВНОГО ДОЇННЯ

О. С. Гаврильченко, О. В. Мицик

Дніпровський державний аграрно-економічний університет, Україна.

Кореспонденція авторів: myvptddau@i.ua.

Історія статті: отримано – травень 2018, акцептовано – вересень 2018.

Бібл. 9, рис. 3, табл. 0.

Анотація. Одним із факторів, які впливають на якість молока та здоров'я корів є доїльний апарат. Вітчизняні доїльні апарати, які випускаються серійно, працюють в незмінному жорсткому режимі, що призводить до гальмування молоковіддачі та значного зниження продуктивності тварин. Метою досліджень є проведення моделювання роботи доїльного апарата з колектором адаптивного доїння і визначення його раціональних конструктивно-режимних параметрів. Проведено розрахунок конструкційних параметрів розробленого колектора і побудована пульсограми роботи доїльного апарата з розробленим колектором: визначені такти роботи для міжстінної і піддійкової камер доїльного стакану.

Ключові слова: доїння, доїльна установка, колектор, параметри, пульсограма.

Постановка проблеми

Одним із факторів, які впливають на якість молока та здоров'я корів є доїльний апарат.

Вітчизняні доїльні апарати, які випускаються серійно, працюють в незмінному жорсткому режимі, що призводить до гальмування молоковіддачі та значного зниження продуктивності тварин.

Недостатня відповідність доїльного устаткування фізіологічним вимогам, що пов'язані з особливостями біологічних процесів в організмі тварини під час доїння, веде до захворювань вимені корів маститом і неповного видоювання [1].

У зв'язку з цим виникає необхідність створення доїльного устаткування, яке б відповідало фізіологічним вимогам за рахунок адаптації режимів його роботи до кожної тварини індивідуально, безпосередньо в процесі доїння.

Тому задача розробки доїльного апарату, в якому частотно-вакуумний режим змінюється залежно від інтенсивності потоку молока, залишається актуальним і перспективним науково-технічним завданням для розвитку молочної галузі сільськогосподарського виробництва.

Зазначена задача може бути досягнутою за рахунок створення колектора адаптивного доїння, який входить до складу доїльного апарату.

Аналіз останніх досліджень

Колектор призначено для збору молока з окремих доїльних стаканів. В залежності від числа робочих камер колектори поділяють на двокамерні, трьохкамерні і чотирьохкамерні [2]. З проведеного аналізу існуючих типів колекторів доїльних апаратів [3-7] робимо висновок, що необхідно розробити колектор адаптивного доїння, який мав би просту конструкцію і забезпечував високу швидкість доїння. Розробку колектора адаптивного доїння проведемо на базі двокамерного колектора АДУ.03.000 за рахунок додавання ще двох повітряних камер. Основними вузлами і деталями колектора адаптивного доїння (рис. 1) є: пластмасовий корпус 1, що виконує функцію молокозбірної камери К1 із зливним патрубком; камера 2 з патрубками для доїльних стаканів; стакан 3, який є продовженням камери 2; камера змінного вакууму 4 розділена стаканом 5 на верхню 6 (К3) і нижню 7 (К2) частину; мембрана 8 обмежує знизу нижню частину камери змінного вакууму-розуму 7 закріплена гайками 12; клапан односторонньої дії 9; клапан 10 виконаний з обмежувачем 11, який виконує також функцію ущільнювача; гвинт регульований 13; розподільник вакууму 14 (К4) встановлюється на камері змінного вакууму 4; клапан 15. Колектор адаптивного доїння у складі двотактного доїльного апарату працює наступним чином. В процесі доїння клапан 15 відкритий. Під час такту ссання молоко з доїльних стаканів надходить в пластмасовий корпус 1 (К1) через патрубки.

Із збільшенням молоковіддачі вакуум в корпусі 1 (К1) знижується, мембрана 8 прогинається вгору, відкриває клапан 10 і атмосферне повітря перетікає з нижньої частини камери (К2) змінного вакууму в верхню частину (К3), далі через отвір з регульованим гвинтом 13 через клапан односторонньої дії 9 в корпус 1 (К1) і сприяє прискоренню евакуації молока в молокопровід.

Під час такту стиснення в корпусі 1 (К1) відновлюється колишній рівень вакууму шляхом прогинання мембрани 8 вниз і закриття клапана 10.

По закінченні доїння вручну клапан 15 закривають, тим самим відключаючи вакуум від колектора.

Мета досліджень

Провести моделювання роботи доїльного апарата з колектором адаптивного доїння і визначити його раціональні конструктивно-режимні параметри.

Результати досліджень

Режим роботи колектора адаптивного доїння у складі двотактного доїльного апарата визначається за інтервалами часу, за які відбувається переключення клапану (рис. 1).

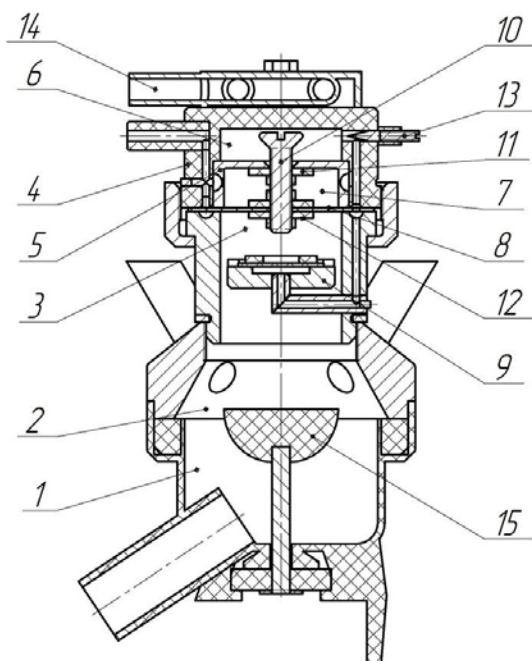


Рис. 1. Конструктивна схема колектора адаптивного доїння: 1 – пластмасовий корпус (K1); 2 – камера; 3 – стакан; 4 – камера змінного вакууму; 5 – стакан; 6 – верхня частина стакана (K3); 7 – нижня частина (K2); 8 – мембрана; 9 – клапан односторонньої дії; 10 – клапан; 11 – обмежувач; 12 – гайка; 13 – гвинт регульований; 14 – розподільник вакууму (K4); 15 – клапан.

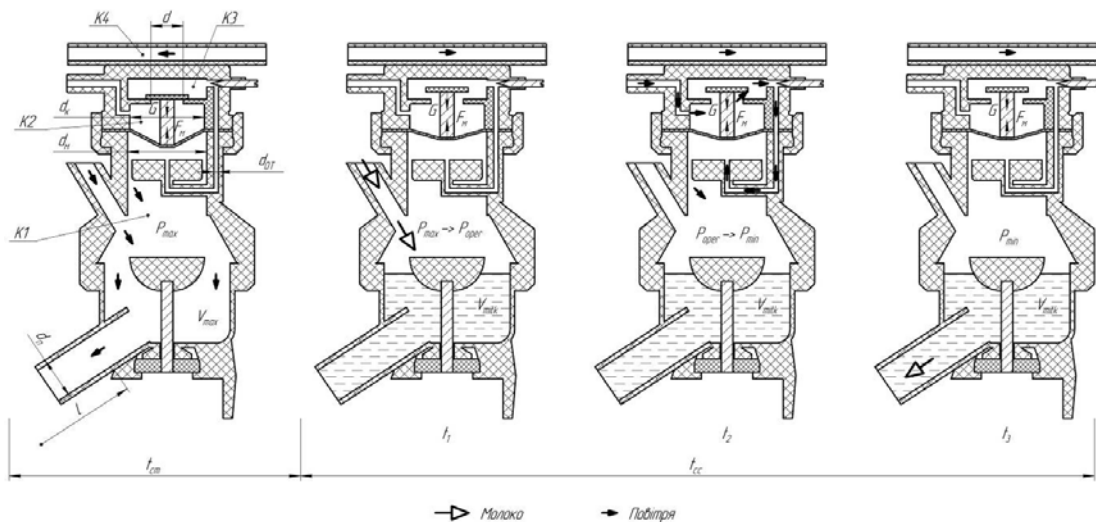


Рис. 2. Розрахункова схема роботи колектора адаптивного доїння.

Розрахунок базується на врахуванні закономірностей, що спостерігаються при перетіканні повітря з однієї камери в іншу за допомогою дросельного каналу і заповненні молочної камери молоком.

Такт ссання t_{cc} двотактного доїльного апарата з розробленим колектором можна розділити на три етапи (рис. 2): t_1 – заповнення молочної камери колектора молоком; t_2 – перетікання повітря крізь односторонній клапан і дросельний канал в молочну камеру; t_3 – звільнення молочної камери колектора від молока.

Під час такту ссання двотактного доїльного апарата відбувається заповнення молочної камери колектора молоком. При цьому вакууметричний тиск в молочній камері колектора і як наслідок у піддійковому просторі доїльних стаканів зменшується. Приймаючи, що молоко є нестисливою рідиною, згідно закону Бойля-Маріотта маємо:

$$P_{oper}(V_{max} - V_{milk}) = V_{max} P_{max}, \quad (1)$$

де P_{oper} – мінімальний вакууметричний тиск в молочній камері при якому відбувається відкриття клапана, Па; V_{max} – об'єм молочної камери, м³; V_{milk} – об'єм молока який заповнив молочну камеру, м³.

З рівняння (1) маємо:

$$V_{milk} = V_{max} \left(\frac{P_{max}}{P_{oper}} - 1 \right). \quad (2)$$

Час за який молоко заповнить об'єм V_{milk} молочної камери колектора визначається за формулою:

$$t_1 = \frac{Q_{max}}{V_{milk}} = \frac{Q_{max}}{V_{max} \left(\frac{P_{max}}{P_{oper}} - 1 \right)}, \quad (3)$$

де $Q_{\max}$ – інтенсивність виведення молока з вимені тварини, $\text{м}^3/\text{с}$.

Згідно з рівняння рівноваги сил, що діють на клапан і мембрану маємо:

$$P_{\text{oper}} u S_{\text{м}} = G - F_{\text{м}}, \quad (4)$$

де $S_{\text{м}}$ – площа мембрани, м^2 :

$$S_{\text{м}} = \frac{1}{4} \pi d_{\text{к}}^2, \quad (5)$$

G – сила тяжіння рухомих частин (клапана і мембрани), Н; $F_{\text{м}}$ – пружна сила мембрани, Н; u – коефіцієнт активності мембрани,

$$u = \frac{\frac{1}{3} + \frac{d_{\text{к}}}{d_{\text{м}}} + \left(\frac{d_{\text{к}}}{d_{\text{м}}}\right)^2}{1 + \frac{2d_{\text{к}}}{d_{\text{м}}} + \left(\frac{d_{\text{к}}}{d_{\text{м}}}\right)^2} [8]; \quad (6)$$

де $d_{\text{к}}$ – внутрішній діаметр мембрани, м; $d_{\text{м}}$ – зовнішній діаметр мембрани, м.

З рівняння (4) маємо:

$$P_{\text{oper}} = \frac{G - F_{\text{м}}}{u S_{\text{м}}}. \quad (7)$$

Остаточно маємо час, за який вакуумметричний тиск змінюється від P_{max} до P_{oper} :

$$t_1 = \frac{Q_{\text{max}}}{V_{\text{max}} \left(P_{\text{max}} \frac{u \pi d_{\text{к}}^2}{4(G - F_{\text{м}})} - 1 \right)}. \quad (8)$$

За час t_2 після відкриття клапана колектора повітря почне перетікати крізь однобічний клапан і дросельний канал в молочну камеру змінюючи тиск в ній від P_{oper} до P_{min} . Швидкість зміни вакуумметричного тиску визначається за залежністю [9]:

$$\frac{dP(t)}{dt} = \frac{k_p}{V_{\text{max}}} P(t), \quad (9)$$

де $P(t)$ – вакуумметричний тиск в момент часу t , Па; k_p – коефіцієнт Пуазейля, що враховує розміри

каналу і в'язкість повітря, $k_p = \frac{\pi d_{\text{от}}^4}{128 l_{\text{от}} \eta_B}$; $d_{\text{от}}$, $l_{\text{от}}$ – діаметр і довжина каналу, що з'єднує камери пульсатора, м; η_B – динамічна в'язкість повітря, Па·с.

З рівняння (9) маємо:

$$t_2 = \frac{V_{\text{max}}}{k_p} \int_{P_{\text{oper}}}^{P_{\text{min}}} \frac{dP}{P} = \frac{V_{\text{max}}}{k_p} \ln \frac{P_{\text{oper}}}{P_{\text{min}}} = \frac{128 l_{\text{от}} \eta_B V_{\text{max}}}{\pi d_{\text{от}}^4} \ln \frac{4(G - F_{\text{м}})}{u \pi d_{\text{к}}^2 P_{\text{min}}}, \quad (10)$$

де P_{min} – мінімальне значення вакуумметричного тиску при якому підвісна частина тримається на дійках, Па [9].

За час t_3 за рахунок створеного градієнта концентрацій $P_{\text{max}} - P_{\text{min}}$ молоко звільнить молочну камеру колектора:

$$t_3 = \frac{Q}{V_{\text{milk}}}, \quad (11)$$

де Q – витрати молока крізь вихідний патрубок молочного шлангу, $\text{м}^3/\text{с}$.

Складемо рівняння Бернуллі для процесу перетікання молока крізь вихідний патрубок молочного шлангу:

$$\frac{P_{\text{max}}}{\rho g} = \frac{P_{\text{min}}}{\rho g} + \frac{v^2}{2g}, \quad (12)$$

де ρ – густина молока, $\text{кг}/\text{м}^3$; g – прискорення вільного падіння, $\text{м}/\text{с}^2$; v – швидкість молочного потоку в патрубку молочного шлангу, $\text{м}/\text{с}$.

Виразимо швидкість молочного потоку через діаметр патрубку d_n і витрати молока крізь нього Q_{max} . Середня швидкість молочного потоку складатиме:

$$v = \frac{4Q_{\text{max}}}{\pi d_n^2}. \quad (13)$$

Підставляючи значення (12) в рівняння (13) і зробивши відповідні перетворення, отримаємо:

$$Q_{\text{max}} = \pi d_n^2 \sqrt{\frac{P_{\text{max}} - P_{\text{min}}}{8\rho}}. \quad (14)$$

Остаточно маємо:

$$t_3 = \frac{\pi d_n^2 \sqrt{\frac{P_{\text{max}} - P_{\text{min}}}{8\rho}}}{V_{\text{max}} \left(P_{\text{max}} \frac{u \pi d_{\text{к}}^2}{4(G - F_{\text{м}})} - 1 \right)}. \quad (15)$$

Загальний час спрацювання клапана $t_1 + t_2 + t_3$ колектора повинен бути рівним часу такту ссання двотактного пульсатора t_{cc} :

$$\frac{Q_{\text{max}}}{V_{\text{max}} \left(P_{\text{max}} \frac{u \pi d_{\text{к}}^2}{4(G - F_{\text{м}})} - 1 \right)} + \frac{128 l_{\text{от}} \eta_B V_{\text{max}}}{\pi d_{\text{от}}^4} \ln \frac{4(G - F_{\text{м}})}{u \pi d_{\text{к}}^2 P_{\text{min}}} + \frac{\pi d_n^2 \sqrt{\frac{P_{\text{max}} - P_{\text{min}}}{8\rho}}}{V_{\text{max}} \left(P_{\text{max}} \frac{u \pi d_{\text{к}}^2}{4(G - F_{\text{м}})} - 1 \right)} = t_{\text{cc}} \quad (16)$$

З рівняння (16) маємо вираз для визначення об'єму молочної камери V_{max} колектора:

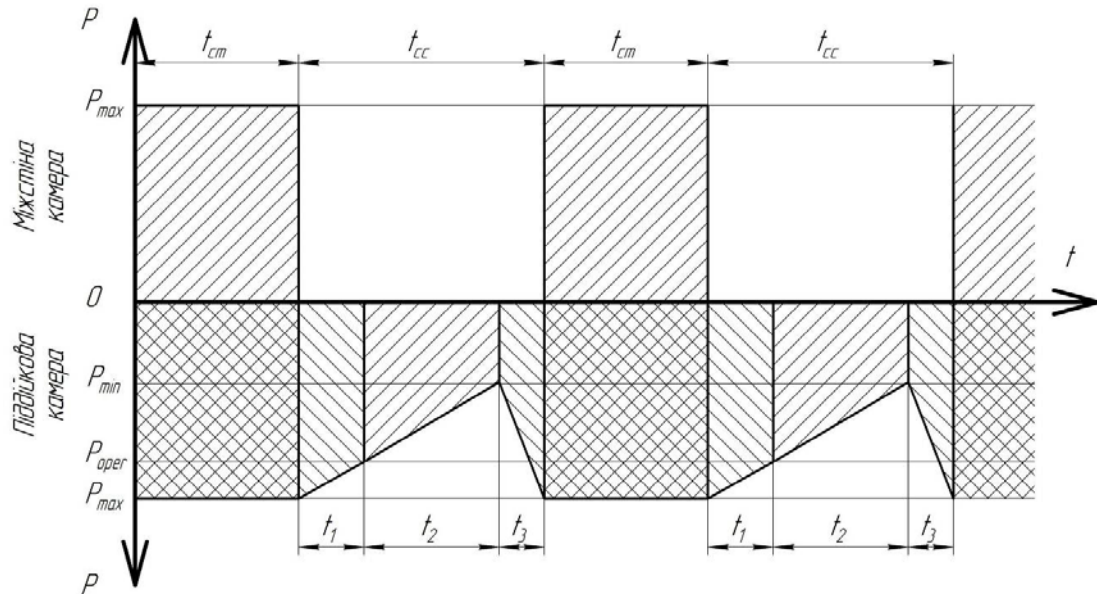


Рис. 3. Пульсограма ідеального процесу роботи розробленого колектора у складі двотактного доїльного апарата.

$$V_{\max} = \frac{t_{cc} + \sqrt{A_4^2 - 4A_3(A_1 + A_2)}}{2A_3}, \quad (17)$$

де

$$A_1 = \frac{\frac{\pi d^2}{4} \sqrt{\frac{P_0 - P_{\max} + \rho g L}{\rho}}}{\left(P_{\max} \frac{u \pi d_{\kappa}^2}{4(G - F_M)} - 1 \right)};$$

$$A_2 = \frac{\frac{\pi d_n^2}{4} \sqrt{\frac{2(P_{\max} - P_{\min})}{\rho}}}{\left(P_{\max} \frac{u \pi d_{\kappa}^2}{4(G - F_M)} - 1 \right)};$$

$$A_3 = \frac{128 l_{OT} \eta_B}{\pi d_{OT}^4} \ln \frac{4(G - F_M)}{u \pi d_{\kappa}^2 P_{\min}}. \quad (18)$$

Підставляючи в вирази (18) значення визначених конструктивних параметрів колектора і режимних параметрів двотактного доїльного апарата отримуємо об'єм молочної камери розробленого колектора, який дорівнює 121 см³.

Розрахунок розробленого колектора у складі доїльного апарата передбачає визначення тривалості тактів. Робочий цикл доїльного апарата графічно зображується у вигляді індикаторних пульсограм, які показують зміну вакуумметричного тиску повітря в кожен момент часу в міжстінній і піддійковій камерах доїльного стакану.

Для двотактного доїльного апарата характерне співвідношення тактів ссання і стиснення, яке визначається за виразом:

$$\delta = \frac{t_{cc}}{t_{cm}} = \frac{60}{40}; \quad (19)$$

і частота пульсацій, що знаходиться за рівнянням:

$$n = \frac{1}{t_{cc} + t_{cm}} = 60 \text{ імп./хв.} \quad (20)$$

Звідки маємо $t_{cc} = 0,6$ с, $t_{cm} = 0,4$ с. Робочий вакуумметричний тиск в вакуумній системі складає 48 кПа.

Підставляючи в вирази (8), (10) і (15) значення визначених конструктивних параметрів колектора отримуємо значення інтервалів часу $t_1 = 0,16$ с, $t_2 = 0,33$ с, $t_3 = 0,11$ с. При цих інтервалах вакуумметричні тиски приймають наступні значення $P_{oper} = 39$ кПа (виходячи з формули (7) та $P_{\min} = 20$ кПа.

На рис. 3 представлена пульсограма ідеального процесу роботи розробленого колектора у складі двотактного доїльного апарата.

Висновки

1. Встановлено залежності режимних параметрів колектора адаптивного доїння (частота і співвідношення тактів) від об'єму його молочної камери $V_{\max}$. З урахуванням прийнятих технологічних параметрів процесу машинного доїння визначено раціональний об'єм молочної камери розробленого колектора, який дорівнює 121 см³.

2. Побудована пульсограми роботи доїльного апарата з розробленим колектором, визначені такти роботи для міжстінної і піддійкової камер доїльного стакану: $t_1 = 0,16$ с, $t_2 = 0,33$ с, $t_3 = 0,11$ с. При цих інтервалах вакуумметричні тиски приймають наступні значення $P_{oper} = 39$ кПа та $P_{\min} = 20$ кПа.

Список літератури

1. *Карташов Л. П.* Контроль при машинном доении. Москва. Россельхозиздат, 1977. 48 с.
2. *Королев В. Ф.* Доильные машины: теория, конструкция и расчёт. Изд. 2-е перераб. и доп. Москва. Машиностроение, 1969. 279 с.
3. *Макаровская З. В.* Технологические основы повышения эффективности работы доильных аппаратов: дисс. доктора техн. наук: 05.20.01. Макаровская Зоя Вячеславовна. Оренбург. 2004. 380 с.
4. *Алієв Е. Б. огли.* Підвищення ефективності експлуатації вакуумної системи молочно-доїльного обладнання: дис. ... канд. техн. наук: 05.05.11. Алієв Ельчин Бахтияр огли. Запоріжжя, 2012. 177 с.
5. *Карташов Л. П., Куранов Ю. Ф.* Машинное доение коров. Москва. Высшая школа, 1980. 223 с.
6. *Фененко А. І.* Механізація доїння корів. Теорія і практика: монографія. Київ. 2008. 198 с.
7. *Шевченко І. А., Алієв Е. Б.* Науково-методичні рекомендації з багатокритеріального виробничого контролю доїльних установок. Запоріжжя. Акцент Інвест-трейд, 2013. 156 с. ISBN 978-966-2602-41-VIII.
8. *Мельников С. В.* Механизация и автоматизация животноводческих ферм. Ленинград. Колос. Ленинградское отделение, 1978. 559 с.
9. *Фененко А. И., Карташов Л. П.* Режимная характеристика биотехнического звена “машина–животное” процесса выведения молока из вымени коров. Механізація та електрифікація сільського господарства. Глевах. 2010. Вип. 94. С. 63–248.

References

1. *Kartashov, L. P.* (1977). Control during machine milking. Moscow. Rosselkhozizdat, 48.
2. *Korolev, V. F.* (1969). Milking machines: theory, design and calculation. Ed. 2. Moscow. Mechanical engineering, 279.
3. *Makarov, F. V.* (2004). Technological bases of increase of efficiency of milking machines. Dr. Techn. Sciences: 05.20.01. Makarov Zoe Vyacheslavovna. Orenburg. 380 p
4. *Aliyev, E. B. ogli.* (2012). Improving the efficiency of operation of the vacuum system of milk-milking equipment: dis. kand. tech. Sciences: 05.05.11. Elchin Aliyev Bakhtiyar ogly. Zaporozhye, 177.
5. *Kartashov, L. P., Kuranov, Y. F.* (1980). Machine milking of cows. Moscow. Higher school, 223.
6. *Fenenko, A. I.* (2008). Mechanization of milking cows. Theory and practice: monograph. Kiev. 198.
7. *Shevchenko, I. A., Aliyev, E. B.* (2013). Would. Scientific guidance on multi-criteria operational control of milking machines. Zaporizhia. Accent invest-TREJJD, 156. ISBN 978-966-2602-41 VIII.
8. *Melnikov, S. V.* (1978). Mechanization and automation of livestock farms. Leningrad. Ear. Leningrad branch, 559 p
9. *Fenenko, A. S., Kartashov, L. P.* (2010). Performance characteristic of biotech link “machine–animal” of the process of removing milk from the udder

of cows. Mechanization and electrification of agriculture. Glevaha. Vol. 94. 63-248.

МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОТЫ ДОИЛЬНОГО АППАРАТА С КОЛЕКТОРАМИ АДАПТИВНОГО ДОЕНИЯ

А. С. Гаврильченко, А. В. Мыцик

Аннотация. Одним из факторов, влияющих на качество молока и здоровье коров является доильный аппарат. Отечественные доильные аппараты, которые выпускаются серийно, работают в постоянном жестком режиме, что приводит к торможению молокоотдачи и значительного снижения продуктивности животных. Целью исследований является проведение моделирования работы доильного аппарата с коллектором адаптивного доения и определение его рациональных конструктивно-режимных параметры. Проведен расчет конструктивных параметров разработанного коллектора и построена пульсограмма работы доильного аппарата с разработанным коллектором: определенные такты работы для межстенного и подсосковой камер доильного стакана.

Ключевые слова: доение, доильная установка, коллектор, параметры, пульсограмма.

MODELING WORK OF DOELLE APPARATUS WITH ADAPTIVE DAILY ASSETS

Gavrilchenko O. S., Mytsyk O. V.

Abstract. One of the factors affecting milk quality and cow health is the milking machine. Domestic milking machines, which are produced serially, operate in a constant hard mode, which leads to inhibition of milk yield and a significant decrease in the productivity of animals. The purpose of the research is to simulate the operation of the milking machine with the collector of adaptive milking and to determine its rational design-regime parameters. The design parameters of the developed reservoir were calculated and the pulsogram of the milking machine was developed with a developed collector: certain working cycles for the interstitial and sucker chambers of the teat cup.

Key words: milking, milking installation, collector, parameters, pulseogram.

