



УДК 637.11

РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ВАКУУМНОЇ СИСТЕМИ МОЛОЧНО-ДОЇЛЬНОГО ОБЛАДНАННЯ

Алієв Е.Б.

ННЦ «ІМЕСГ» НААН

Тел.: 098–563-14-14

Анотація – наведені результати експериментальних досліджень зміни техніко-технологічних параметрів вакуумної системи молочно-доїльного обладнання, а саме величини робочого вакууму, частоти пульсацій, співвідношення тактів пульсацій і сили натягу дійкової гуми в залежності від тривалості експлуатації.

Ключові слова – техніко-технологічні параметри, вакуумна система, молочно-доїльне обладнання, робочий вакуум, частота пульсацій, співвідношення тактів, сила натягу дійної гуми.

Постановка проблеми. Вчасне технічне обслуговування молочно-доїльного обладнання є одним з напрямків Національного проекту «Відроджене скотарство», в якому зазначено «...сприяти розвитку інфраструктури технічного сервісу обладнання, що використовується у скотарстві...» [1]. Незважаючи на широкий вибір високопродуктивного молочно-доїльного обладнання, для комплектацій сучасних поточкових ліній доїння якість його технічного обслуговування залишається незадовільною. Це пов'язано з тим, що молочні господарства не мають можливості проводити планову діагностику свого молочно-доїльного обладнання, що призводить до відхилення його техніко-технологічних параметрів від регламентованих. Доїння тварин – це складний процес функціонування біотехнічної системи «людина – машина – тварина». Машинна ланка системи має відповідати фізіологічним потребам тварин і забезпечувати повноцінне стимулювання рефлексу молоковіддачі; якісне видоювання корів із певною періодичністю, убезпечення молочної залози та організму тварини від шкідливого впливу машини, одержання молока високої якості. Це можливе лише за умови підтримання молочно-доїльного обладнання в працездатному стані.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Нормальний експлуатаційний режим вакуумної системи залежить від вакуумного

насосу. Розглядаючи конструктивні причини зниження ефективності експлуатації пластинчасто-роторного вакуумного насосу, виявлено, що на його робочий тиск впливає надмірний знос поверхонь лопаток, що сполучаються з його кришками

$$P = P_{ст} \pm \frac{\beta \cdot l \cdot \rho}{2\pi^2 D_{ВП}^5} \left[K \cdot n_{об} \cdot \left(L_0 - 2 \frac{C_\gamma \cdot \vartheta \cdot F \cdot t}{\varphi \cdot b} \right) (D - d)(D + d - 2\varphi Z) \right]^2, \quad (1)$$

де $P_{ст}$ – статичний вакуумметричний тиск, що встановлюється вакуум-регулятором, Па;

β – коефіцієнт тертя повітря;

l – довжина вакуумпроводу, м;

$D_{ВП}$ – діаметр вакуумпроводу, м;

ρ – густина повітря, кг/м³;

K – коефіцієнт заповнення камери вакуумного насосу;

$n_{об}$ – частота обертання ротора, с⁻¹;

L_0 – початкова довжина лопаток, м;

v – швидкість лінійного зносу, м/с;

C_γ – характеристика зносостійкості лопаток, Па⁻¹;

F – результуюча сила взаємодії лопатки з кришкою насосу, Н;

t – тривалість експлуатації, с;

b – ширина лопатки, м;

D – діаметр статора, м;

d – діаметр ротора, м;

φ – товщина лопаток, м;

Z – число лопаток.

Детально вивчений характер зміни основних показників надійності вузлів доїльного апарату показав, що основна частина відмов припадає на пульсатор. Найменш надійними елементами цього вузла є мембрана і дросельний канал. В процесі роботи пульсатора відбувається старіння гуми мембрани та засмічення дросельного каналу із зменшенням його діаметру. В результаті встановлено залежність частоти і співвідношення тактів пульсацій двотактного пульсатора від тривалості його експлуатації [2]:

$$n(t) = \frac{\pi d_0^4}{128 l_0 \eta_B V} \left(\frac{1}{(P_A - P)} \ln \left(\frac{2P_A - P - P_{\min}}{2P_A - P + P_{\max}} \cdot \frac{P - P_{\max}}{P - P_{\min}} \right) + \frac{1}{P_A} \ln \left(\frac{2P_A - P_{\max}}{2P_A - P_{\min}} \cdot \frac{P_{\min}}{P_{\max}} \right) \right)^{-1}; \quad (2)$$

$$\delta(t) = \frac{P_A \ln \left(\frac{2P_A - P - P_{\min}}{2P_A - P + P_{\max}} \cdot \frac{P - P_{\max}}{P - P_{\min}} \right)}{(P_A - P) \ln \left(\frac{2P_A - P_{\max}}{2P_A - P_{\min}} \cdot \frac{P_{\min}}{P_{\max}} \right)}, \quad (3)$$

$$P_{\min} = P \cdot \frac{S_{\text{ш}} + uS_{\text{к}} - S_{\text{в.к}}}{S_{\text{ш}} + uS_{\text{к}}} - \frac{G + (E_{\text{д.п.}} + (E_{\text{д.к.}} - E_{\text{д.п.}}) \cdot e^{kt}) \cdot S_{\text{к}} \cdot \varepsilon}{S_{\text{ш}} + uS_{\text{к}}}; \quad (4)$$

$$P_{\max} = P \cdot \frac{S_{\text{ш}} + uS_{\text{к}} - S_{\text{н.к}}}{S_{\text{ш}} + uS_{\text{к}}} - \frac{G - (E_{\text{д.п.}} + (E_{\text{д.к.}} - E_{\text{д.п.}}) \cdot e^{kt}) \cdot S_{\text{к}} \cdot \varepsilon}{S_{\text{ш}} + uS_{\text{к}}}, \quad (5)$$

- де δ – співвідношення тактів;
 n – частота пульсацій, с^{-1} ;
 V – об’єм робочої камери пульсатора, м^3 ;
 d_0, l_0 – діаметр і довжина дросельного каналу, м ;
 $\eta_{\text{в}}$ – динамічна в’язкість повітря, $\text{Па} \cdot \text{с}$;
 P – робочий вакуум в системі, Па ;
 $S_{\text{ш}}$ – площа шайби, м^2 ;
 $S_{\text{к}}$ – площа кільця мембрани, м^2 ;
 $S_{\text{в.к.}}$ – площа верхнього клапану, м^2 ;
 $S_{\text{н.к.}}$ – площа нижнього клапану, м^2 ;
 u – коефіцієнт активності мембрани;
 G – сила тяжіння рухомих частин, Н ;
 $F_{\text{М}}$ – сила пружності мембрани, Н ;
 $E_{\text{д.п.}}$ і $E_{\text{д.к.}}$ – початкове і кінцеве значення динамічного модуля, Па ;
 k – константа швидкості зносу мембрани, с^{-1} ;
 P_{\min}, P_{\max} – мінімальний і максимальний тиск в камерах пульсатора, Па ;
 $P_{\text{А}}$ – атмосферний тиск, Па .

Спрацьованість дійкової гуми значним чином пов’язана з постійною її пульсацією під час доїння. В результаті цього змінюється її динамічний модуль Юнга. Розв’язуючи задачу пружного стану однорідної дійкової гуми, що постійно пульсує, отримано залежність зміни сили її натягу від тривалості експлуатації [3]

$$F_{\text{н}} = \pi\mu(PR_1^2 - P_{\text{А}}R_2^2) - \frac{\pi\varepsilon_z}{2}(R_2^2 - R_1^2)(E_{\text{д.п.}} + (E_{\text{д.к.}} - E_{\text{д.п.}})e^{kt}), \quad (6)$$

- де μ – коефіцієнт Пуассона;
 P – робочий тиск вакуумної системи доїльної установки, Па ;
 $P_{\text{А}}$ – атмосферний тиск, Па ;
 ε_z – відносна деформація;
 R_1, R_2 – внутрішній і зовнішній радіус дійкової гуми, м ;
 $E_{\text{д.п.}}$ і $E_{\text{д.к.}}$ – початкове і кінцеве значення динамічного модуля, Па ;
 k – константа швидкості зносу гуми, с^{-1} .

Мета досліджень. Метою експериментальних досліджень техніко-технологічних параметрів молочно-доїльного обладнання є ідентифікації отриманих теоретичних залежностей.

Результати досліджень. Дослідження з визначення залежностей техніко-технологічних параметрів вакуумної системи молочно-доїльного обладнання в залежності від часу її експлуатації проводились на експериментальному стенді, який складався з вакуумного насосу, до якого підключено електродвигун. Керування електродвигуном відбувається за допомогою блока керування. До вакуумного насосу підключено N доїльних апаратів через вакуум-балон, вакуум-регулятор і молокозбирач. До складу доїльних апаратів входить пульсатор, колектор і по чотири доїльних стаканів. Загальний вигляд експериментального стенду для досліджень вакуумної системи молочно-доїльного обладнання представлено на рис. 1.

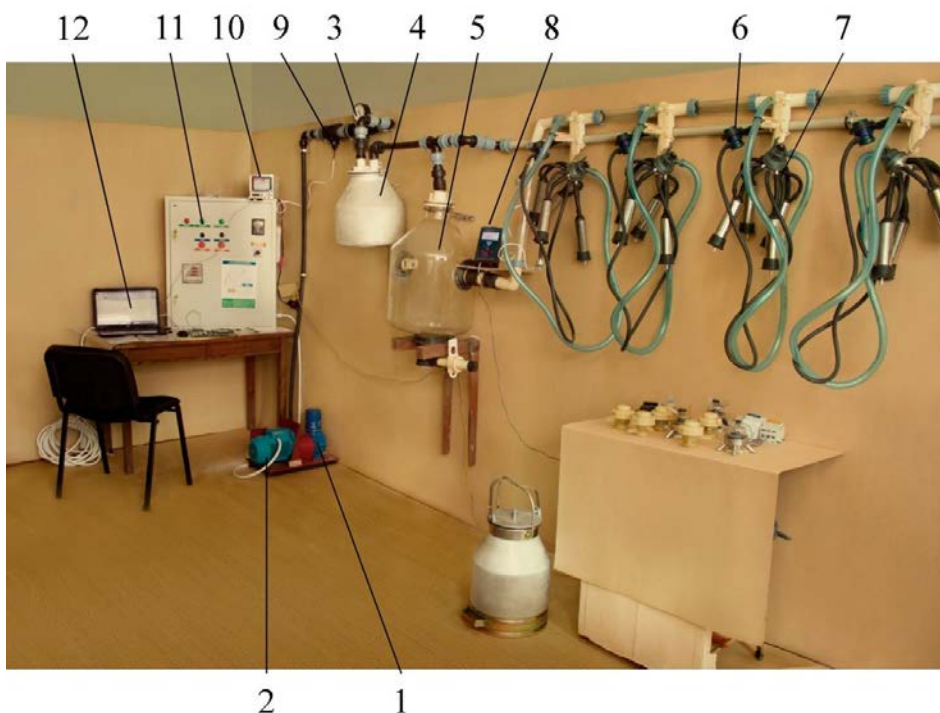


Рис. 1. Загальний вигляд експериментального стенду вакуумної системи молочно-доїльного обладнання:

1 – вакуумний насос, 2 – електродвигун, 3 – вакуум-регулятор та вакуумметр, 4 – вакуумбалон, 5 – молокозбирач, 6 – пульсатор, 7 – підвісна частина доїльного апарату, 8 – комплект приладового устаткування контролю техніко-технологічних параметрів вакуумної системи молочно-доїльного обладнання, 9 – датчик витрат повітря, 10 – відеографічний реєстратор Екограф-Т, 11 – блок керування електродвигуном Danfoss, 12 – персональний комп'ютер.

Техніко-технологічні параметри вакуумної системи молочно-

доїльного обладнання визначалися з використанням відкаліброваного комплекту приладового устаткування [4, 5].

Дослідження з визначення залежностей техніко-технологічних параметрів вакуумної системи доїльних установок від часу експлуатації проведені згідно з планом спостережень $[N, R(r, T)]$: план спостережень, згідно якому одночасно починають випробування N об'єктів; об'єкти, що відмовили під час випробувань замінюються новими; спостереження припиняються, коли число об'єктів, що відмовило, досягло значення r або при закінченні часу спостережень, або наробітку T [6].

Число об'єктів спостережень для проведення експериментальних досліджень визначалося за формулою [6]

$$N = \chi \cdot \frac{\overline{t_0}}{t_k}, \quad (7)$$

де χ – табличний коефіцієнт;
 $\overline{t_0}$ – середній наробіток на відмову;
 t_k – тривалість спостережень.

Число об'єктів спостережень для експериментальних досліджень складало 10.

Математична модель впливу технічного стану доїльної установки на її техніко-технологічні параметри представляється у вигляді рівнянь регресії – полінома

$$y = \sum_{i=0}^n a_i \cdot t^i, \quad (8)$$

де a_i – коефіцієнти регресії;
 t – час експлуатації;
 y – техніко-технологічний параметр вакуумної системи молочно-доїльного обладнання.

Дослідження впливу технічного стану доїльних установок проводяться за наступними параметрами y : робочий вакуум P , кПа, частота n , хв^{-1} і співвідношення тактів пульсацій δ , сила натягу дійкової гуми F_H , Н.

На початку дослідження на експериментальному стенді були встановлені оптимальні техніко-технологічні параметри [7]. Потім через кожні 20 годин роботи експериментального стенду фіксували фактичні значення цих параметрів.

Дослідивши зміну техніко-технологічних параметрів вакуумної систем протягом 300 годин експлуатації, визначено, що закономірність їх однакові і можуть бути представлені у вигляді квадратичної

функції від часу експлуатації:

– робочий вакуум:

$$P(t) = 6 \cdot 10^{-7} \cdot t^2 - 3,9 \cdot 10^{-3} \cdot t + 52, \quad r = 0,972; \quad (9)$$

– частота пульсацій:

$$n(t) = 1 \cdot 10^{-4} \cdot t^2 - 7,4 \cdot 10^{-2} \cdot t + 60, \quad r = 0,978; \quad (10)$$

– співвідношення тактів пульсацій:

$$\delta(t) = 1 \cdot 10^{-6} \cdot t^2 - 7 \cdot 10^{-4} \cdot t + 0,6, \quad r = 0,974 \quad (11)$$

– сили натягу дійкової гуми:

$$F_H(t) = -5 \cdot 10^{-4} \cdot t^2 - 1,6 \cdot 10^{-2} \cdot t + 60, \quad r = 0,971; \quad (12)$$

де r – коефіцієнт кореляції.

Графічна інтерпретація залежностей (9)-(12) представлена на рис. 2.

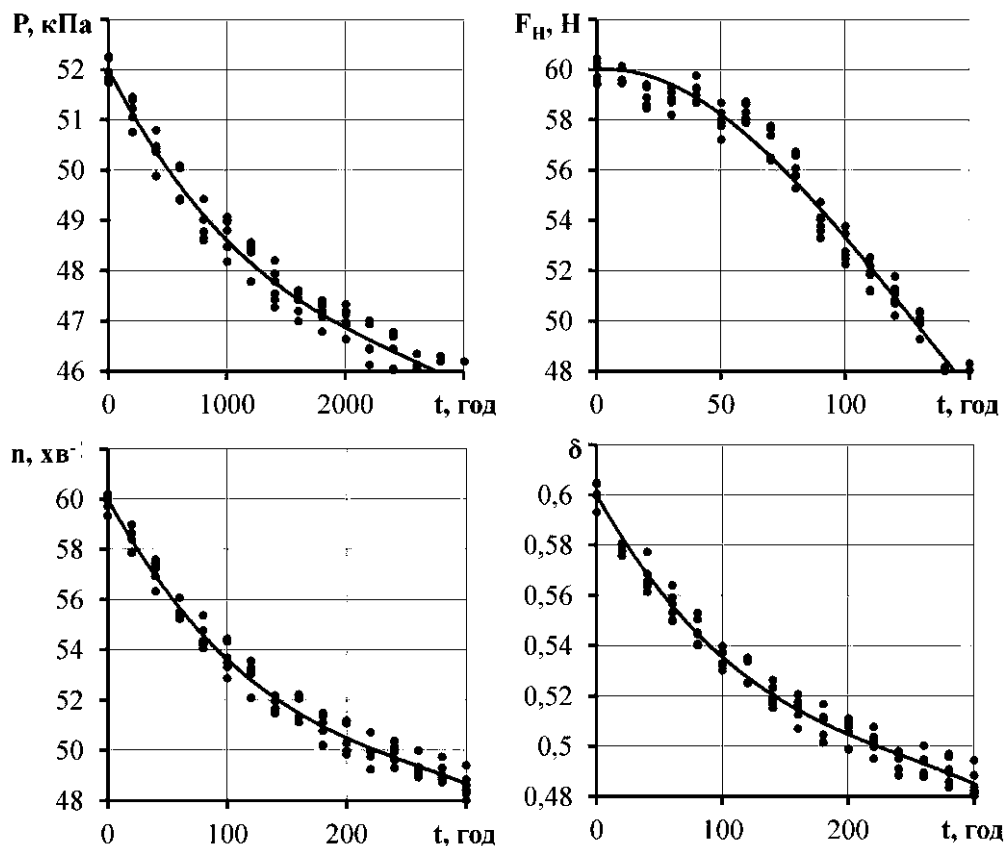


Рис. 2. Емпіричні залежності зміни частоти пульсацій n , співвідношення тактів δ , сили натягу дійкової гуми F_H і робочого вакууму P від часу експлуатації вакуумної системи t .

Виведені емпіричні залежності зміни техніко-технологічних параметрів вакуумної системи молочно-доїльного обладнання дозволяють у будь-який момент часу визначати їх фактичний технічний стан. В результаті проведення експериментальних досліджень зміни техніко-технологічних параметрів вакуумної системи молочно-доїльного обладнання, а саме величина робочого вакууму, частота пульсацій,

співвідношення тактів пульсацій і сила натягу дійкової гуми в залежності від часу експлуатації, емпірично підтверджені отримані теоретичні залежності (1)-(6) з коефіцієнтом їх кореляції – 0,97.

Так, після 175 годин експлуатації молочно-доїльного обладнання величина робочого вакууму змінилося на 4 %, частота пульсації – 14 %, співвідношення тактів пульсацій – 16 %, сила натягу дійкової гуми – 21 %.

Висновки. В результаті проведення експериментальних досліджень зміни техніко-технологічних параметрів вакуумної системи молочно-доїльного обладнання, а саме величини робочого вакууму, частоти пульсацій, співвідношення тактів пульсацій і сили натягу дійкової гуми в залежності від часу експлуатації, емпірично підтверджені отримані теоретичні залежності з коефіцієнтом їх кореляції $r = 0,97$, $p < 0$. Встановлено, що після 175 год. експлуатації доїльної установки типу УДМ величина робочого вакууму зменшилась на 4 %, частота пульсації – 14 %, співвідношення тактів пульсацій – 16 %, сила натягу дійкової гуми – 21 %.

Література

1. Національний проект «Відроджене скотарство» / Міністерство аграрної політики та продовольства України, Національна академія аграрних наук України // [Текст, таблиці, додатки]. – К.: ДІА, 2011. – 44 с.
2. *Алієв Е. Б.* Теоретична оцінка показників надійності двотактного пульсатора доїльного апарату / Е. Б. Алієв // *Механізація, екологізація та конвертація біосировини в тваринництві: зб. наук. праць / Ін-т мех. тваринництва НААН.* – Запоріжжя, 2011. – Вип. 1(7). – С. 106-113. – ISSN 2075-1591.
3. *Алієв Е.* Дослідження спрацьованості дійної гуми доїльного апарату з урахуванням теорії старіння на основі плоскої задачі // Е. Алієв // *Механізація, екологізація та конвертація біосировини у тваринництві: зб. наук. пр. ІМТ НААН – Запоріжжя, 2010.* – Вип. 1(5,6). – С.233-242. – ISSN 2075-1591.
4. *Алієв Е. Б.* Конструкційно-технологічна схема комплексу устаткування контролю вакуумметричних параметрів доїльного обладнання / Е. Б. Алієв, О. С. Тісліченко // *Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин: Кіровоградський національний технічний університет – Кіровоград, 2011.* – Вип. 41. – С. 429-432.
5. *Алієв Е.Б.* Дослідження метрологічних характеристик комплексу устаткування контролю вакуумметричних параметрів молочно-доїльного обладнання / Е.Б. Алієв // *Аграрна наука та практика на сучасному етапі розвитку: досвід, проблеми та шляхи їх вирішення. Міжнародна науково-практична конференція.* – Львів: "Львівська аграр-

на фундація" 2012. – С. 13-15.

6. ГОСТ Р 27.403-2009 Надежность в технике. Планы испытаний для контроля вероятности безотказной работы / Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии // Введён в действие 15 дек. 2009 г. – М. : ФГУП «Стандартинформ», 2009. – 16 с.

7. *Алиев Е. Б.* Оптимізація техніко-технологічних параметрів вакуумної системи доїльної установки / Е. Б. Алиев // Праці Таврійського державного агротехнологічного університету. – Мелітополь: ТДАТУ, 2011. – Вип. 12. Т.1. – С. 138-147.

РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ВАКУУМНОЙ СИСТЕМЫ МОЛОЧНО-ДОИЛЬНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Алиев Э.Б.

Аннотация

Приведены результаты экспериментальных исследований изменения технико-технологических параметров вакуумной системы молочно-доильного оборудования, а именно величины рабочего вакуума, частоты пульсаций, соотношение тактов пульсаций и силы натяжения сосковой резины в зависимости от продолжительности эксплуатации.

RESULTS OF EXPERIMENTAL INVESTIGATIONS THE VA- CUUM OF MILK-MILKING EQUIPMENT

E. Aliev

Summary

The results of experimental studies of technical change and technological parameters of the vacuum system of dairy milking equipment, namely the size of the working vacuum, pulsation frequency, the ratio of clock pulses and the tension force liners, depending on the duration of the operation.