

УДК 637.11

## ОПТИМІЗАЦІЯ ТЕХНІКО-ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ВАКУУМНОЇ СИСТЕМИ ДОЇЛЬНОЇ УСТАНОВКИ

Алієв Е.Б., інж.

*Інститут механізації тваринництва НААН*

Тел./факс: (061) 289 81 44

**Анотація** - отримані експериментальні залежності впливу техніко-технологічних параметрів вакуумної системи доїльної установки на швидкість молоковіддачі. Визначені оптимальні техніко-технологічні параметри вакуумної системи доїльної установки. Розраховані витрати електроенергії, що витрачаються доїльною установкою за час доїння.

**Ключові слова** - швидкість молоковіддачі, витрати повітря, робочий вакуум, частота пульсацій, співвідношення тактів, натяг дійної гуми.

*Постановка проблеми.* Машинне доїння корів – один з небагатьох виробничих процесів, в яких машина тісно пов'язана з твариною, впливає на її поведінку, продуктивність, стан здоров'я. Ефективність роботи доїльних установок і технології в цілому у значній мірі визначається такими показниками, як швидкість доїння, повнота видалення молока і підтримання рефлексу молоковіддачі на високому рівні на протязі всього процесу доїння. Однак підвищення ефективності використання доїльних установок призводить до підвищення енерговитрат, тим самим збільшуючи витрати на молочній фермі. У зв'язку з цим є актуальним питання оптимізації техніко-технологічних параметрів існуючих доїльних установок.

*Аналіз останніх досліджень.* Машинне доїння повинно відповідати зоотехнічним вимогам, які зводяться до швидкого видоювання; повноти вилучення молока; рівномірного видоювання всіх сосків; чистоти доїння; відсутності больових подразнень вимені; неприпустимості вакууму в сосках, що може призвести до захворювання вимені корови на мастит або появи крові в молоці; неприпустимого наповзання стаканів на соски [1]. Робота доїльного апарата повинна відповідати фізіологічній нормі організму корови. За даними зоотехнічних досліджень встановлено, що величина робочого вакууму повинна знаходитись у межах від 48 до 52 кПа [2], частота пульсацій – 50-65 хв<sup>-1</sup> [3],

співвідношення тактів пульсацій – 0,5-0,7 [3] і сила натягу дійної гуми – 50-70 Н [4]. Порушення і ризькі зміни техніко-технологічних параметрів доїльних установок з часом доїння чинять суттєвий вплив на швидкість молоковіддачі і збільшують час видоювання корів. Провівши теоретичні дослідження було встановлено, що інтенсивність молоковіддачі з соска вимені тварини залежить від величини робочого вакууму, частоти пульсацій, співвідношення тактів і сили натягу дійної гуми [5]. Для розрахунку швидкості молоковіддачі  $V$  використовують формулу:

$$V = \frac{q}{t}, \quad (1)$$

де  $q$  – середній надій молока за одну дійку, л;  
 $t$  – час доїння, хв;

Для створення необхідного рівня розрідження в вакуумній системі доїльної установки необхідно, щоб вакуумний насос, що забезпечує відкачку повітря з вакуумпроводу і доїльних апаратів, мав визначений запас подачі. Потужність  $N$ , що потребує вакуумний насос, залежить від витрат повітря доїльного апарату і визначається за формулою [6]:

$$N = \frac{(Q \cdot Z + Q_0) \cdot P \cdot P_a}{0,9 \cdot (P_a - P) \cdot \eta}, \quad (2)$$

де  $Q$  – витрати повітря доїльного апарату, м<sup>3</sup>/год;  
 $Q_0$  – витрати повітря інших вузлів доїльної установки, м<sup>3</sup>/год;  
 $P$  – робочий тиск вакуумної системи, кПа;  
 $Z$  – кількість доїльних апаратів, хв<sup>-1</sup>;  
 $P_a$  – атмосферний тиск,  $P_a = 101,3$  кПа;  
 $\eta$  – ККД вакуумного насосу.

Електроенергія, що витрачається доїльною установкою за час доїння однієї групи корів, розраховується за формулою

$$E = N \cdot t. \quad (3)$$

*Формулювання цілей статті.* Визначити оптимальні техніко-технологічні параметри вакуумної системи доїльної установки, що призводять до підвищення швидкості молоковіддачі і зменшення витрат повітря доїльного апарату.

*Основна частина.* Для визначення оптимальних значень техніко-технологічних параметрів при їх допустимих відхиленнях необхідно мати дані про їх взаємозв'язок з інтенсивністю молоковіддачі. Для цього були проведені експериментальні дослідження з визначення

впливу параметрів вакуумної системи доїльної установки на швидкість молоковіддачі корів і витрати повітря доїльного апарату.

Дослідження проводились на доїльній установці «УДМ-100», яка відповідає вимогам ISO 5707 і має точки для підключення приладу для визначення її техніко-технологічних параметрів згідно з ISO 3918. Для виміру швидкості молоковіддачі використовувався індивідуальний лічильник молока виробництва ВАТ «Брацлав» (рис. 1, а). Для виміру техніко-технологічних параметрів доїльної установки використовувався відкалібрований прилад ТММ-1 (відповідає вимогам ISO 6690), який розроблено Інститутом механізації тваринництва НААН (рис. 1, б). Для проведення досліджень впливу технічних параметрів вакуумної системи доїльних установок на швидкість молоковіддачі корів було обрано групу здорових корів (10 голів) однієї породи і віку, раціон і моціон корів на період досліджень був однаковим.



а



б

Рис.1. Загальний вигляд доїльній установці «УДМ-100» з індивідуальним лічильником молока (а) і приладу для визначення її техніко-технологічних параметрів ТММ-1 (б).

Дослідження проводились із застосуванням методу математичного планування факторного експерименту, який дозволяє визначити математичні моделі процесів у вигляді рівнянь регресії (полінома) другого порядку. Згідно з поставлених задач було обрано D-оптимальний план Бокса-Бенкіна другого порядку для 4 факторів. Факторами експерименту були обрані: робочий тиск вакуумної системи ( $x_1$ ), частота пульсацій доїльного апарату ( $x_2$ ), співвідношення тактів пульсацій доїльного апарату ( $x_3$ ) та сила натягу дійної гуми ( $x_4$ ). Критеріями оптимізації є швидкість молоковіддачі  $y_1$  і витрати повітря доїльного апарату  $y_2$ . Отримана математична модель впливу досліджуваних факторів на швидкість молоковіддачі мала вигляд:

$$\begin{aligned}
y_1 = & 1,39449 + 0,185833 x_1 - 0,0678502 x_1^2 + 0,0316667 x_2 + \\
& + 0,005 x_1 x_2 - 0,1316 x_2^2 - 0,015 x_3 - 4,63041 \cdot 10^{-17} x_1 x_3 + \\
& + 0,115 x_2 x_3 - 0,1041 x_3^2 + 0,0232488 x_4 + 0,0025 x_1 x_4 - \\
& - 8,00691 \cdot 10^{-18} x_2 x_4 + 5,76656 \cdot 10^{-17} x_3 x_4 - 0,176727 x_4^2
\end{aligned} \quad (4)$$

Для цього рівняння на 95% рівні довірчої ймовірності дисперсії однорідні, значення критерію Кохрена  $G = 0,06364 < G_{0,05}(9, 26) = 0,0958$ .

Дисперсія адекватності математичної моделі  $S_{ад} = 0,0522$ ; дисперсія похибки дослідів  $S_y = 0,0659$ ; значення критерію Фішера  $F = 1,04 < F_{0,05}(16, 234) = 1,687$ ; модель адекватна на будь-якому рівні довірчої ймовірності. За розрахованими значеннями коефіцієнтів кореляції та критерію Стьюдента значущими на рівні довірчої ймовірності більше 95% є коефіцієнти при таких членах рівняння:  $x_1, x_2, x_3, x_4, x_2 x_3, x_1 x_2, x_1 x_4, x_1^2, x_2^2, x_3^2, x_4^2$ .

На основі цього рівняння регресії (4) прийме вигляд:

$$\begin{aligned}
y_1 = & 1,39449 + 0,185833 x_1 - 0,0678502 x_1^2 + 0,0316667 x_2 + 0,005 x_1 x_2 - \\
& - 0,1316 x_2^2 - 0,015 x_3 + 0,115 x_2 x_3 - 0,1041 x_3^2 + 0,0232488 x_4 + \\
& + 0,0025 x_1 x_4 - 0,176727 x_4^2
\end{aligned} \quad (5)$$

У розкодованому вигляді модель (5) має вигляд:

$$\begin{aligned}
V = & -57,1716 + 1,7625 P - 0,01696 P^2 + 0,1646 n + 0,00033 P n - \\
& - 0,00234 n^2 + 3,5254 \delta + 0,1533 n \delta - 10,41 \delta^2 + \\
& + 0,2081 F_H + 0,00013 P F_H - 0,00176727 F_H^2
\end{aligned} \quad (6)$$

де  $V$  – швидкість молоковіддачі, л/хв;  
 $P$  – робочий тиск вакуумної системи, кПа;  
 $n$  – частота пульсацій доїльного апарату, хв<sup>-1</sup>;  
 $\delta$  – співвідношення тактів пульсацій;  
 $F_H$  – сила натягнення дійної гуми, Н.

Отримана математична модель впливу досліджуваних факторів на витрати повітря доїльного апарату мала вигляд:

$$\begin{aligned}
y_2 = & 2,31058 + 0,185 x_1 + 0,00093599 x_1^2 + 0,150833 x_2 + 0,01 x_1 x_2 - \\
& - 0,00531401 x_2^2 + 0,065 x_3 + 0,005 x_1 x_3 + 0,005 x_2 x_3 - 0,00656401 x_3^2 - \\
& - 0,22907 x_4 - 0,015 x_1 x_4 - 0,0175 x_2 x_4 - 0,005 x_3 x_4 - 0,00266908 x_4^2
\end{aligned} \quad (7)$$

Для цього рівняння на 95% рівні довірчої ймовірності дисперсії

однорідні, значення критерію Кохрена  $G = 0,061 < G_{0,05}(9, 26) = 0,0958$ . Дисперсія адекватності математичної моделі  $S_{ад} = 0,002589$ ; дисперсія похибки дослідів  $S_y = 0,0628$ ; значення критерію Фішера  $F = 1,044 < F_{0,05}(16, 234) = 1,709$ ; модель адекватна на будь-якому рівні довірчої ймовірності. За розрахованими значеннями коефіцієнтів кореляції та критерію Стьюдента значущими на рівні довірчої ймовірності більше 95% є коефіцієнти при таких членах рівняння  $x_1, x_2, x_3, x_4, x_1x_2, x_1x_4, x_2x_4$ .

На основі цього рівняння регресії (6) прийме вигляд:

$$y_2 = 2,31058 + 0,185 x_1 + 0,150833 x_2 + 0,01 x_1 x_2 + 0,065 x_3 - 0,22907 x_4 - 0,015 x_1 x_4 - 0,0175 x_2 x_4 \quad (8)$$

У розкдованому вигляді модель (7) має вигляд:

$$Q = -2,88447 + 0,0607669 P + 0,00764198 n + 0,000667 P n + 0,104348 \delta + 0,0342126 F_H - 0,00075 P F_H - 0,0002333 n F_H \quad (9)$$

де  $Q$  – витрати повітря доїльного апарату, м<sup>3</sup>/год.

Аналізуючи рівняння (6), поверхні, які графічно представлені на рис. 2-7, можна стверджувати, що на швидкість молоковіддачі впливають всі вище згадані фактори. При цьому зі збільшенням робочого тиску вакуумної системи збільшується і швидкість молоковіддачі, а при варіюванні значень частота пульсацій доїльного апарату, співвідношення тактів пульсацій і сила натягнення дійної гуми швидкість молоковіддачі має оптимум:

$$V(P = 52 \text{ кПа}; n = 58,566 \text{ хв}^{-1}; \delta = 0.6; F_H = 60,72 \text{ Н}) = 1,516 \text{ л/хв} \quad (10)$$

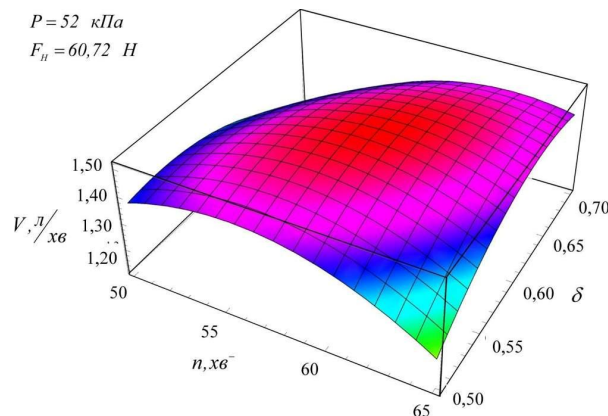


Рис. 2. Вплив частоти пульсацій  $n$  та співвідношення тактів пульсацій  $\delta$  на швидкість молоковіддачі  $V$ .

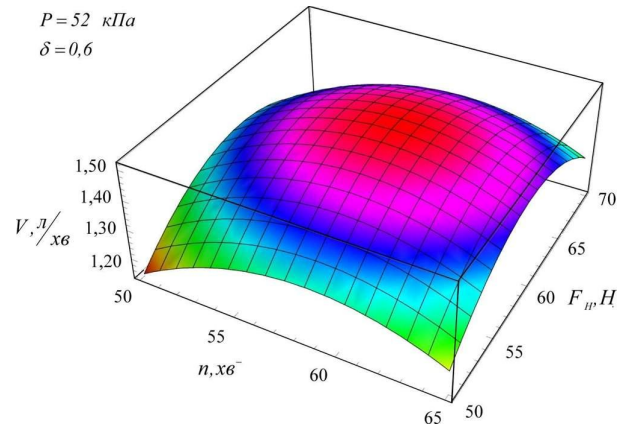


Рис. 3. Вплив частоти пульсацій  $n$  та сила натягнення дійної гуги  $F_H$  на швидкість молоковіддачі  $V$ .

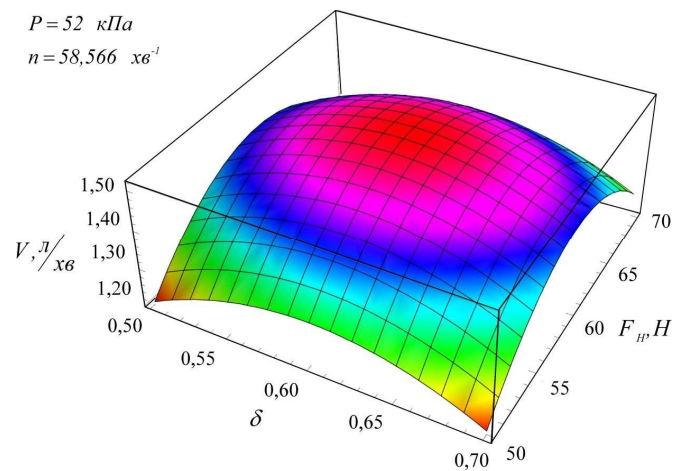


Рис. 4. Вплив співвідношення тактів пульсацій  $\delta$  та сила натягнення дійної гуги  $F_H$  на швидкість молоковіддачі  $V$ .

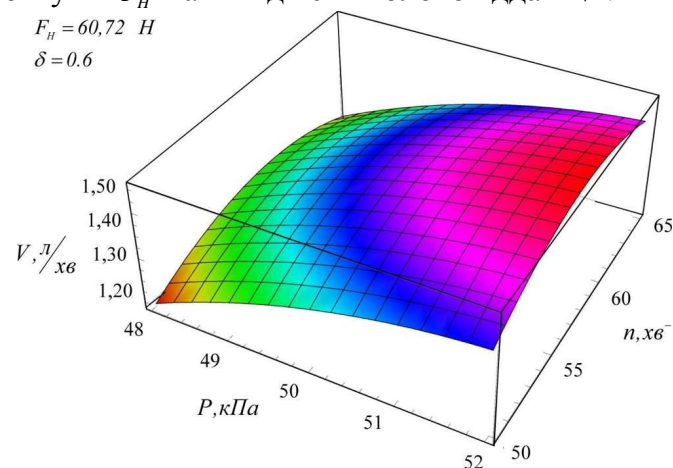


Рис. 5. Вплив робочого тиску вакуумної системи  $P$  та частоти пульсацій  $n$  на швидкість молоковіддачі  $V$ .

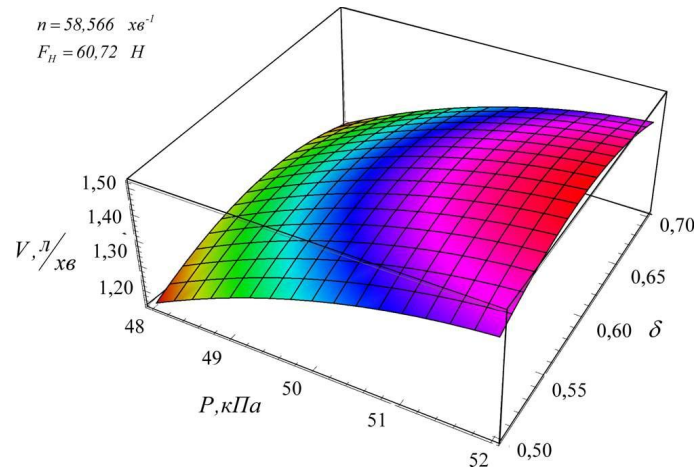


Рис.6. Вплив робочого тиску вакуумної системи  $P$  та співвідношення тактів  $\delta$  на швидкість молоковіддачі  $V$ .

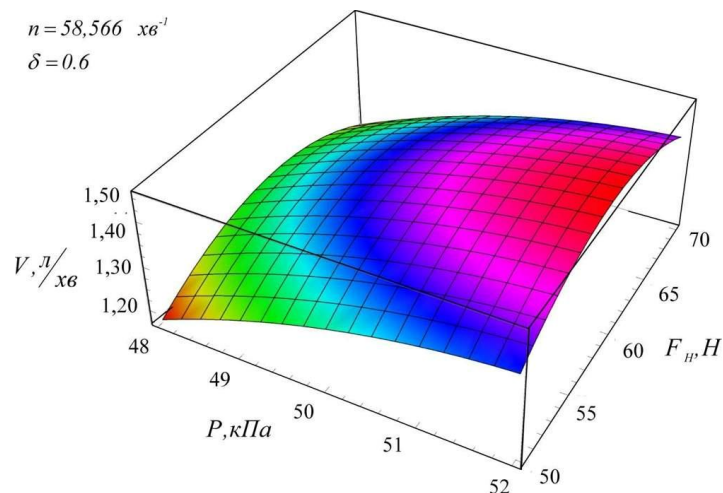


Рис. 7. Вплив співвідношення робочого тиску вакуумної системи  $P$  та сила натягнення дійної гуми  $F_H$  на швидкість молоковіддачі  $V$ .

Аналізуючи рівняння (10), видно що витрати повітря доїльного апарату залежать від факторів лінійно. Очевидно, що оптимуми за критеріями швидкість молоковіддачі та витрати повітря доїльного апарату не співпадають. Отже, для знайдення оптимальних значень факторів необхідно вирішення компромісної задачі пошуку оптимуму для двох критеріїв [7, 8, 9]. Побудуємо двомірні залежності швидкості молоковіддачі і витрат повітря доїльного апарату від факторів (рис. 8).

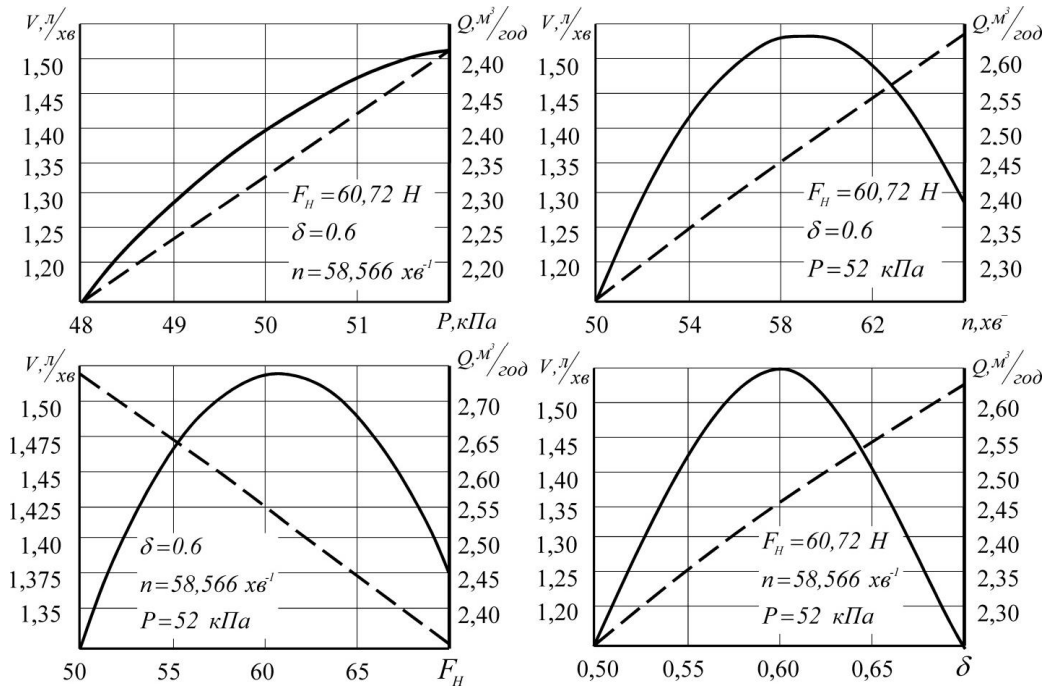


Рис. 8. Вплив факторів на швидкість молоковіддачі  $V$  і витрати повітря доїльного апарату  $Q$ .

Завданням вирішення компромісної задачі була мінімізація витрат повітря доїльного апарату при максимальному значенні швидкості молоковіддачі, тобто:

$$\begin{cases} Q(P, n, \delta, F_H) \rightarrow \min; \\ V(P, n, \delta, F_H) \rightarrow \max; \\ 48 \leq P \leq 52; 50 \leq n \leq 65; 0,5 \leq \delta \leq 0,7; 50 \leq F_H \leq 65. \end{cases} \quad (11)$$

Взявши відношення витрат повітря до швидкості молоковіддачі перетворимо поставлену задачу (11) до вигляду

$$\frac{Q(P, n, \delta, F_H)}{V(P, n, \delta, F_H)} \rightarrow \min. \quad (12)$$

Вирішення задачі (12) за допомогою програмного пакету «Mathematica» привели до оптимальних параметрів і режимів роботи вакуумної системи доїльної установки:

$$\begin{aligned} P = 50,61 \text{ кПа}; n = 55,91 \text{ хв}^{-1}; \delta = 0,58; F_H = 64,85 \text{ Н}; \\ V_{\max} = 1,407 \text{ л/хв}; Q_{\min} = 2,188 \text{ м}^3 / 200 \text{ д}. \end{aligned} \quad (13)$$



При даних оптимальних значеннях техніко-технологічних параметрів (13) доїльна установка «УДМ-100» споживає потужність  $N = 3,97 \text{ кВт}$  (розраховано за формулою (2), питомі витрати електроенергії (розраховано за формулою (3), що витрачається доїльною установкою за час доїння складають  $E = 0,095 \text{ кВт} \cdot \text{год} / \text{короводійку}$ . У порівнянні з техніко-технологічними параметрами, які рекомендовані заводом-виробником, спостерігається зменшення витрат електроенергії на 14,8 %.

*Висновки.* Для оптимізації техніко-технологічних параметрів вакуумної системи доїльної установки вирішено компромісну задачу для двох критеріїв: швидкості молоковіддачі корів і витрати повітря доїльного апарату. За результатом вирішення компромісної задачі визначено оптимальні значення досліджуваних факторів та відповідні їм значення критеріїв оптимізації, які у натуральному вигляді становили  $P = 50,61 \text{ кПа}$ ,  $n = 55,91 \text{ хв}^{-1}$ ,  $\delta = 0,58$ ,  $F_H = 64,85 \text{ Н}$ ,  $V_{\max} = 1,407 \text{ л} / \text{хв}$ ,  $Q_{\min} = 2,188 \text{ м}^3 / \text{год}$ . Досліди, проведені при фіксації досліджуваних факторів на оптимальних рівнях підтвердили результати вирішення компромісної задачі. При даних оптимальних значеннях техніко-технологічних параметрів доїльна установка «УДМ-100» споживає потужність  $N = 3,97 \text{ кВт}$ , питомі витрати електроенергії, що витрачається доїльною установкою за час доїння складають  $E = 0,095 \text{ кВт} \cdot \text{год} / \text{короводійку}$ . У порівнянні з техніко-технологічними параметрами, які рекомендовані заводом-виробником, спостерігається зменшення витрат електроенергії на 14,8 %.

#### Література

1. Мельников С.В. Механизация и автоматизация животноводческих ферм. / С.В. Мельников – Ленинград.: Колос, 1978. – 560 с.
2. Соколов А. О регулировке вакуума при доении. / А.Соколов, Г. Талалаев// Сельскохозяйственное производство нечерноземной зоны. – 1993. - № 4.
3. ISO 5707. Milking machine installations – Construction and performance. The International for Standardization Organization, Geneva, Switzerland, 2007.
4. Андреев П.В. О качестве сосковой резины. / П.В. Андреев // Молочное и мясное скотоводство. - 1993. - № 9.
5. Алієв Е.Б. Теоретичне дослідження впливу технічних параметрів доїльної установки на швидкість молоковіддачі / Е.Б. Алієв //Сучасні проблеми вдосконалення технічних систем і технологій у тваринництві: Вісник харківського Національного технічного університету сільського господарства імені Петра Висиленка - Харків, 2011.

- Вип. 108. – С.92-98.

6. *Королев В.Ф.* Доильные аппараты. – М.: Машиностроение, 1979 – 279 с

7. *Соболь И.М.* Выбор оптимальных параметров в задачах со многими критериями. – М.: Наука, 1981. – 154 с.

8. *Подиновский В.В.* Парето-оптимальные решения многокритериальных задач. / *В.В. Подиновский, В.Д. Ногин* – М.: Наука, 1982. – 208 с.

9. *Подиновский В.В.* Оптимизация по последовательно применяемым критериям. / *В.В. Подиновский, В.М. Гаврилов* – М.: Сов. радио, 1975. – 222 с.

### **ОПТИМИЗАЦИЯ ТЕХНИКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ВАКУУМНОЙ СИСТЕМЫ ДОИЛЬНОЙ УСТАНОВКИ**

Э.Б. Алиев

*Аннотация* - получены экспериментальные зависимости влияния технико-технологических параметров вакуумной системы доильной установки на скорость молокоотдачи. Определены оптимальные технико-технологические параметры вакуумной системы доильной установки. Рассчитаны затраты электроэнергии, расходуемой доильной установкой за время доения.

### **OPTIMIZATION OF TECHNICAL AND TECHNOLOGICAL PARAMETERS OF THE VACUUM SYSTEM MILKING MACHINES**

E. Aliev

#### *Summary*

**Experimental dependence of the influence of technical and technological parameters of the vacuum system to speed the milking plant yield. The optimum technical and technological parameters of the vacuum system of the milking plant. Calculated cost of electricity consumed milking installation for milking time.**