



VI. ДУМКА МОЛОДОГО ВЧЕНОГО

УДК 637.115:621.517

DOI: 10.37128/2520-6168-2019-4-11

ОБҐРУНТУВАННЯ РЕЖИМІВ РОБОТИ СИСТЕМИ ПРОМИВАННЯ
МОЛОКОПРОВІДІВ ДОЇЛЬНОЇ УСТАНОВКИ

Бабин І.А., асистент

Вінницький національний аграрний університет

Ihor Babyn, assistant

Vinnitsia National Agrarian University

ОБРАЗОВАНИЯ РЕЖИМІВ СИСТЕМИ ДЛЯ ВІДВАННЯ МОЛОКА МОЛОЧНОГО
МОНТАЖ

В результаті тривалої експлуатації молокопровідних ліній доїльних установок на їх внутрішніх поверхнях утворюються різноманітні за складом, властивостями, товщині, міцності зчеплення з поверхнею відкладення лужної і кислотної природи. Їх наявність призводить до бактеріального забруднення молока, в результаті чого відбувається зниження його якості і терміну зберігання.

Процес промивання елементів доїльних установок є однією з найважливіших технологічних операцій, від ефективності виконання якої залежить рівень первинної забрудненості молока.

Метою є дослідження режимних параметрів роботи повітряного інжектора системи промивання молокопроводів доїльної установки і обґрунтування їх раціональних значень.

В результаті чисельного моделювання в програмному пакеті STAR-CCM+ і експериментальних досліджень процесу промивання молокопровідної лінії доїльної установки із використанням інжектора було встановлені залежності зміни швидкості тиску і значення ступеня чистоти молокопроводу при різних значеннях його діаметру від робочого вакууметричного тиску, тривалості такту вприскування повітряного інжектору і тривалості паузи повітряного інжектору.

Порівнюючи теоретичну і експериментальну залежності зміни швидкості тиску за критерієм Фішера, коефіцієнтом кореляції Пірсона і коефіцієнтом детермінації можна стверджувати про адекватність теоретичних досліджень.

Порівнюючи теоретичну і експериментальну залежності ступеня чистоти молокопроводу за критерієм Фішера, коефіцієнтом кореляції Пірсона і коефіцієнтом детермінації можна стверджувати про адекватність теоретичних досліджень.

Вирішуючи компромісну задачу, яка зводиться до мінімізації значення швидкості зміни тиску при найбільшому значенні ступеня чистоти молокопроводу для різних значень діаметра молокопроводу отримані відповідні раціональні параметри режимів роботи інжектора.

Ключові слова: молоко, доїльна установка, промивка, режими, чисельне моделювання, експериментальні дослідження

Рис. 5. Таб. 2. Літ. 11.

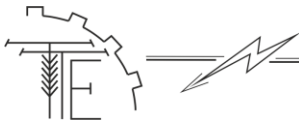
1. Постановка проблеми

В результаті тривалої експлуатації молокопровідних ліній доїльних установок на їх внутрішніх поверхнях утворюються різноманітні за складом, властивостями, товщині, міцності зчеплення з поверхнею відкладення лужної і кислотної природи. Їх наявність призводить до бактеріального забруднення молока, в результаті чого відбувається зниження його якості і терміну зберігання [1]. Зазначені відкладення формуються через не ефективне промивання молочно-доїльного обладнання [2]. Тому процес промивання елементів доїльних установок є однією з найважливіших технологічних операцій, від ефективності виконання якої залежить рівень первинної забрудненості молока.

2. Аналіз останніх досліджень та публікацій

Аналіз літературних джерел показав, що незважаючи на відмінність у кількісних характеристиках процесу промивання доїльних установок (температура, тривалість) в цілому по складу операцій і послідовності їх виконання в даний час існує єдина думка, а саме [3-5]:

– попереднє ополіскування і видалення залишків молока теплою водою (30-48°C) протягом 2–10 хвилин;



- приготування миючих лужних розчинів в гарячій воді температурою 60–70°C і мийка протягом 15–30 хвилин;
- ополіскування і видалення залишків миючого розчину теплою або гарячою водою протягом 10 хвилин;
- промивка 1–2 рази в тиждень кислотними миючими розчинами;
- промивка системи перед початком роботи гарячою водою і дезінфікуючим розчином;
- обробка комунікацій кислотними розчинами з температурою 60–70 С для видалення молочного каменю здійснюють після попереднього ополіскування, потім слідує проміжне ополіскування гарячою водою при температурі 70°C протягом 5 хвилин, після чого миють лужним розчином.

Для підвищення ефективності промивки молочно-доїльної обладнання застосовуються системи зі спонтанним утворенням коркового потоку миючої рідини і повітряного потоку [6-7]. Останнє реалізоване з використанням повітряних інжекторів. Однак режими їх роботи не досліджені в повній мірі, як теоретично так і експериментально.

3. Мета і задачі дослідження

Мета даної роботи – Дослідити режимні параметри роботи повітряного інжектора системи промивання молокопроводів доїльної установки і обґрунтувати їх раціональні значення.

4. Основні результати дослідження

Дослідження процесу роботи системи промивання молокопроводів доїльної установки із повітряним інжектором проведено в два етапи.

Перший етап проведено на основі чисельного моделювання в програмному пакеті STAR-CCM+ [8]. Схема чисельного дослідження представлено на рис. 1. Молокопроводна лінія доїльної установки представляє собою прямолінійну горизонтальну трубу довжиною $L = 5$ м. З правої сторони зверху встановлений інжектор діаметром $D_m = 10$ мм. Сітку континуума молокопроводної лінії доїльної установки було сформовано на основі генератора поверхневої сітки і генератора багатограничних комірок. При цьому базовий розмір сітки складав 0,001 м.

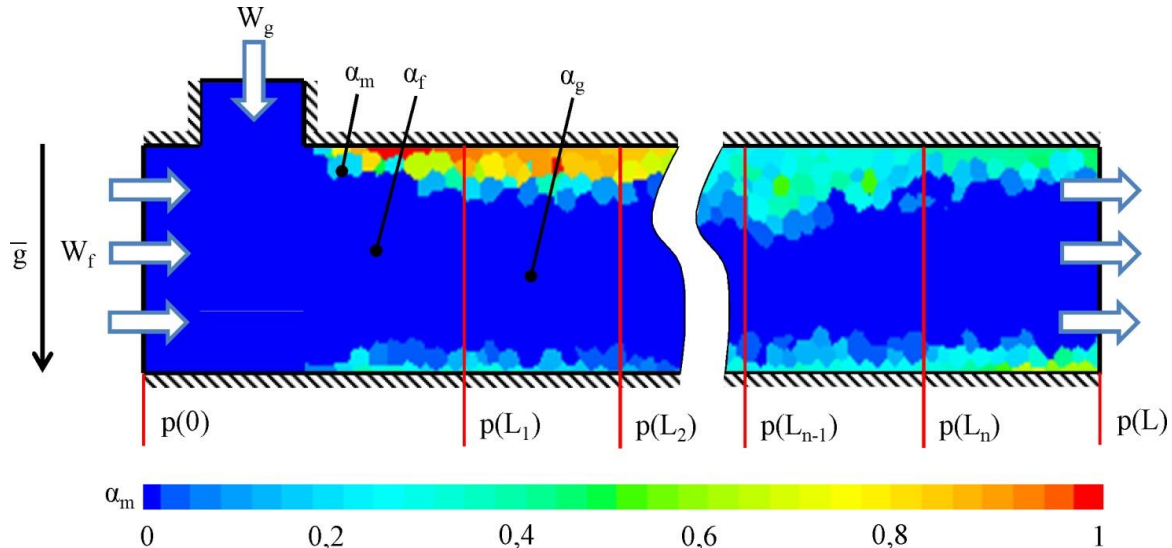
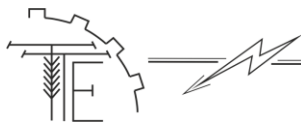


Рисунок 1 – Схема чисельного дослідження процесу руху багатофазного середовища по горизонтальній молокопроводній лінії доїльної установки

Чисельне моделювання було проведено на основі наступних фізичних моделей: багатофазна взаємодія, ізотермічне рівняння енергії рідини, поле сили тяжіння, k-ε модель турбулентності, усереднене по Рейнольдсу рівняння Нав'є-Стокса, роздільна течія, багатофазне рівняння стану, об'єм рідини (VOF), Ейлерова багатофазність.

Було прийнято, що миючий розчин в процесі руху мав постійну щільність $\rho_f = 997,6$ кг/м³, динамічна в'язкість складала $\mu_f = 8,88 \cdot 10^{-4}$ Па·с. Молоко також в процесі руху мало постійну щільність $\rho_m = 1027$ кг/м³, його динамічна в'язкість складала $\mu_m = 2,72 \cdot 10^{-3}$ Па·с. Повітря підпорядковувалось рівнянням ідеального газу. Динамічна в'язкість повітря складала $\mu_g = 1,85 \cdot 10^{-5}$ Па·с, молекулярна маса 28,9 кг/моль [8].



В початковий момент часу було прийнято, що весь об'єм горизонтальної прямолинійної молокопроводної лінії був заповнений молоком, тобто $\alpha_m = 100\%$. При цьому вакуумметричний тиск складав $p = 45$ кПа. Далі на лівій границі було реалізовано масовий потік повітря $W_f = 0,001$ кг/с, на правій – сталий вакуумметричний тиск $p(L) = 45$ кПа, а патрубок інжектора був повністю закритий.

Через 16 с (час підбирався з умови стабілізації вмісту молока і повітря в об'ємі молокопроводної лінії) потік повітря припинявся. А замість нього на лівій границі було реалізовано масовий потік миючого розчину $W_f = 0,2$ кг/с.

Починаючи з 17 с інжектор періодично закривається (1с і 9с) і відкривається (1с і 9с), сполучаючи при цьому внутрішній об'єм молокопроводної суміші з атмосферним тиском і впускаючи повітря в молокопроводну лінію.

Факторами досліджень були діаметр молокопроводу D_m , робочий вакуумметричний тиск p_w , тривалість такту вприскування повітряного інжектору t_{inj} , тривалість паузи повітряного інжектору t_p . Межі та інтервали факторів досліджень представлені в табл. 1.

Таблиця 1

Межі та інтервали факторів чисельного моделювання

Рівень	Діаметр молокопроводу D_m , мм (x_1)	Робочий вакуумметричний тиск p_w , кПа (x_2)	Тривалість такту вприскування повітряного інжектору t_{inj} , с (x_3)	Тривалість паузи повітряного інжектору t_p , с (x_4)
Верхній (+1)	70	75	9	9
Середній (0)	60	60	5	5
Нижній (-1)	50	45	1	1
Інтервал	10	15	4	4

В процесі чисельного моделювання визначали динаміку вакуумметричного тиску на відстані від лівої границі ($p(0\text{ м})$, $p(1\text{ м})$, $p(2\text{ м})$, $p(3\text{ м})$, $p(4\text{ м})$, $p(5\text{ м})$) і динаміку вмісту компонентів багатофазного середовища (миючий розчин α_f , повітря α_g , молоко α_m).

Якісним критерієм оцінки досліджень режимів роботи системи промивання молокопроводів молочно-доїльного обладнання із повітряним інжектором є середнє значення товщина шару молока на стінці труби h_m , яке визначалося за формулою

$$h_m = \frac{D_m}{2} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{\alpha_m}{100}} \right). \quad (1)$$

Чим менше значення товщина шару молока на стінці молокопроводу h_m , тим більш якісніше був проведений процес промивання.

Моделювання проводилося шляхом почергового перебору всіх рівнів факторів із загальною кількістю $3^4 = 81$ дослід. Далі з використанням програмного пакету Wolfram Mathematica визначалася модель регресії другого порядку для кожного запропонованих критеріїв.

Другий експериментальний етап проведено на базі лабораторної доїльної установки із наявними верхнім і нижнім молокопроводами із апаратом промивки виробництва ВАТ «Брацлав». Схема експериментального стенду представлено на рисунку 2.

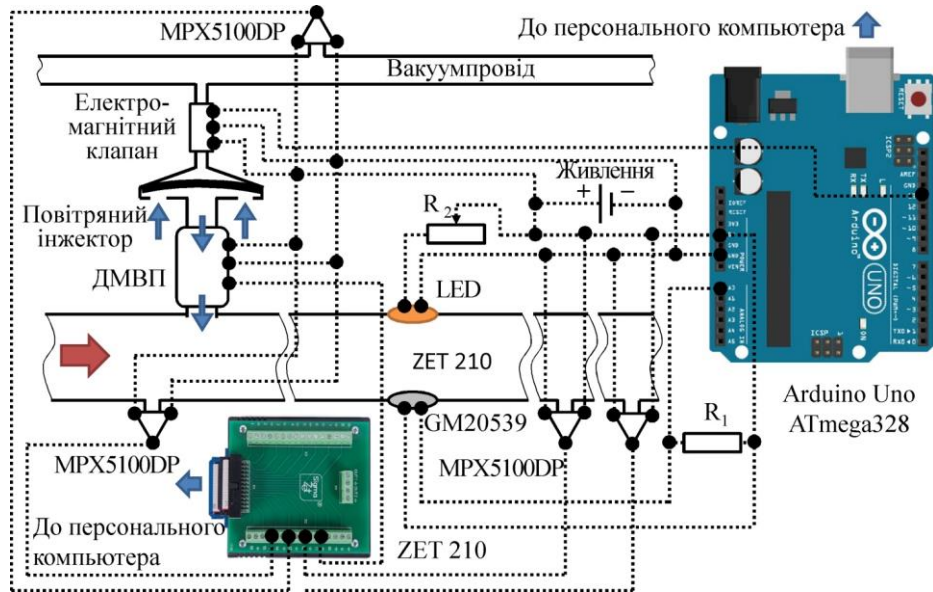


Рисунок 2 – Схема експериментального стенду для дослідження режимів роботи повітряного інжектора системи промивання молокопроводів доїльної установки

До складу стенду входить: лабораторна доїльна установка (в тому числі молокопровід і вакуумпровід); повітряний інжектор, електромагнітний клапан; датчик масових витрат повітря ДМВП; чотири датчики вакуумметричного тиску MPX5100DP, три з яких розташовані на молокопроводі на відстані 2 м один від одного, а один – вакуумпроводі, і підключені до модуля АЦП/ЦАП ZET 210; фотодатчик визначення забрудненості молокопровідної лінії, який складається зі світлодіоду LED 1W 100 Lm, фоторезистору GM20539, резистора $R_1 = 10 \text{ k}\Omega$, підлаштовного резистора $R_2 = 5 \text{ k}\Omega$, плати керування ArduinoUno ATmega328; блок живлення. Загальний вигляд експериментального стенду представлено на рисунку 3.

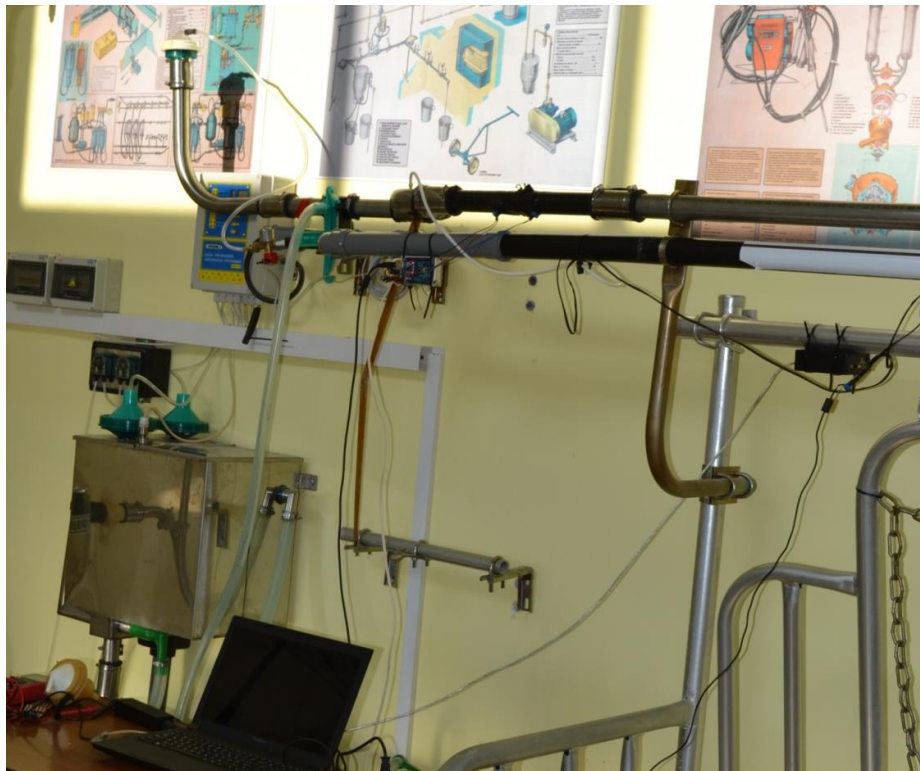
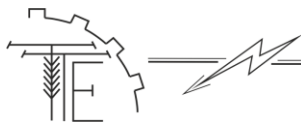


Рисунок 3 – Загальний вигляд експериментального стенду для дослідження режимів роботи повітряного інжектора системи промивання молокопроводів доїльної установки



Факторами експериментальних досліджень є робочий вакуумметричний тиск p_w , тривалість такту впрыскування повітряного інжектору t_{inj} , тривалість паузи повітряного інжектору t_p і об'ємні витрати повітря через повітряний інжектор Q_v . Межі та інтервали факторів досліджень представлені в табл. 2.

Робочий вакуумметричний тиск p_w встановлюється на лабораторній доільній установці з використанням вакуумрегулятора і контролюється датчиком вакуумметричного тиску MPX5100DP.

Таблиця 2

Межі та інтервали факторів експериментальних досліджень

Рівень	Робочий вакуумметричний тиск p_w , кПа (x_1)	Тривалість такту впрыскування повітряного інжектору t_{inj} , с (x_2)	Тривалість паузи повітряного інжектору t_p , с (x_3)	Об'ємні витрати повітря через повітряний інжектор Q_v , л/хв (x_4)
Верхній (+1)	75	9	9	300
Середній (0)	60	5	5	200
Нижній (-1)	45	1	1	100
Інтервал	15	4	4	100

Похибка вимірювання вакуумметричного тиску в межах досліджуваного діапазону становить $\pm 0,1$ кПа.

Тривалості тактів впрыскування t_{inj} і паузи t_p повітряного інжектору встановлюється за допомогою електромагнітного клапана, який приєднано до плати керування ArduinoUno ATmega328. Похибка тактів впрыскування і паузи складає ± 1 мс.

Об'ємні витрати повітря через повітряний інжектор Q_v встановлюється шляхом перекривання отворів на повітряному інжекторі і контролюється датчиком ДМВП BOSH 280218037.

Перед кожним дослідом фотодатчик знімали з лабораторної доільної установки, промивали, витирали і занурювали у ємність із молоком, де він знаходився впродовж 20 хв.

Далі встановлювали фактори досліджень на необхідному рівні і запускали апарат промивки в режимі безперервного промивання впродовж 30 хв.

В процесі експериментальних досліджень визначали динаміку вакуумметричного тиску на кожному з підключених датчиків (p_0 , p_1 , p_2 , p_3) і динаміку зміни опору на фотодатчику R_f .

Якісним критерієм оцінки досліджень режимів роботи системи промивання молокопроводів доільної установки із повітряним інжектором є ступінь чистоти θ_{milk} , яка визначається як зміна середнього значення товщина шару молока h_{milk} на стінці труби:

$$\theta_{milk} = 100 \frac{h''_{milk} - h'_{milk}}{h'_{milk}}. \quad (2)$$

де h'_{milk} – початкове значення товщина шару молока на стінці труби, м;

h''_{milk} – кінцеве значення товщина шару молока на стінці труби, м.

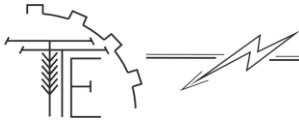
Відповідно до попередніх лабораторних досліджень [9] товщина шару молока на стінці труби визначалася з урахуванням значення опору на фотодатчику за формулою

$$h_{milk} = \frac{1}{k_{\lambda, milk}} \ln \left(\frac{R_f}{R_0} \right). \quad (3)$$

де R_f – поточне значення опору на фотодатчику, Ом;

R_0 – початкове значення опору на фотодатчику, Ом;

$k_{\lambda, milk}$ – показник поглинання світла молоком, який було визначено в результаті лабораторних досліджень [9], m^{-1} .



Критерієм, який обмежує режимні параметри роботи системи промивання молокопроводів доїльної установки із повітряним інжектором є значення зміни тиску за час такту впрыскування і паузи повітряного інжектора (швидкість зміни тиску) $\frac{\Delta p}{\Delta t}$, яке розраховується за формулою

$$\frac{\Delta p}{\Delta t} = \frac{p_{\max} - p_{\min}}{t_{\text{inj}} + t_p}. \quad (4)$$

Чим більше швидкості зміни тиску в молокопроводі доїльної установки, тим більше ймовірність виникнення некерованого гідроудару, який зруйнує не тільки шар молока і молочних відкладень на поверхні стінки молокопроводу, а й сам молокопровід.

Тому раціональні режими роботи системи промивання молокопроводів доїльної установки із повітряним інжектором можна досягти за умови мінімізації значення товщина шару молока на стінці молокопроводу, мінімально допустимого часу промивання і швидкості зміни тиску.

Експериментальні дослідження проводилися за планом Хартлі–Коно (Ha-Co₄) для чотирьох факторів на трьох рівнях із загальною кількістю дослідів – 18 [10]. Далі з використанням програмного пакету Wolfram Mathematica визначалася модель регресії другого порядку для кожного запропонованих критеріїв.

В результаті першого етапу, а саме чисельного моделювання і подальшої обробки отриманих даних в програмному пакеті Wolfram Mathematica отримана залежність зміни значення товщина шару молока від факторів досліджень у вигляді

$$\begin{aligned} h_m = & 0,87386 - 0,0378379 D_m + 0,000609942 D_m^2 + 0,013656 p_w - \\ & - 0,000488142 D_m p_w + 0,000135725 p_w^2 - 0,02288 t_{\text{inj}} + 0,0001143 D_m t_{\text{inj}} + \\ & + 0,00285755 t_{\text{inj}}^2 - 0,0324547 t_p + 0,000305141 D_m t_p - \\ & - 0,00114002 t_{\text{inj}} t_p + 0,00381425 t_p^2. \end{aligned} \quad (5)$$

З залежності (5) встановлено, що чим більший діаметр молокопроводу застосований у молочно-доїльному обладнанні, тим більший вакууметричний тиск необхідно створювати для забезпечення якісного очищення його стінок від залишок молока. При цьому тривалість такту впрыскування повітряного інжектору t_{inj} і тривалості паузи повітряного інжектору t_p повинні знаходитися в межах 2,9-3,6 с і 1,9-2,8 с відповідно.

Перерахунок рівняння (5) за формулою (2) дає змогу визначити теоретичну залежність зміни ступінь чистоти θ_{milk} від факторів досліджень:

$$\begin{aligned} \theta_{\text{milk}} = & 12,614 + 3,78379 D_m - 0,0609942 D_m^2 - 1,3656 p_w + \\ & + 0,0488142 D_m p_w - 0,0135725 p_w^2 + 2,288 t_{\text{inj}} - 0,01143 D_m t_{\text{inj}} - \\ & - 0,285755 t_{\text{inj}}^2 + 3,24547 t_p - 0,0305141 D_m t_p + \\ & + 0,114002 t_{\text{inj}} t_p - 0,381425 t_p^2. \end{aligned} \quad (6)$$

Графічна інтерпретація теоретичної залежності (6) при $D_m = 50$ мм представлена на рисунку 4.

В результаті чисельного моделювання і подальшої обробки отриманих даних в програмному пакеті Wolfram Mathematica отримана залежність зміни тиску за час такту впрыскування і паузи повітряного інжектора (швидкість зміни тиску) від факторів досліджень у вигляді

$$\begin{aligned} \frac{\Delta p}{\Delta t} = & 37,6294 - 0,226911 D_m + 1,75826 p_w - 0,00763316 p_w^2 - \\ & - 15,3799 t_{\text{inj}} - 0,0737435 p_w t_{\text{inj}} + 1,01054 t_{\text{inj}}^2 - 3,37464 t_p - \\ & - 0,0442911 p_w t_p + 0,925824 t_{\text{inj}} t_p - 0,0872651 t_p^2. \end{aligned} \quad (7)$$

Графічна інтерпретація теоретичної залежності (7) при $D_m = 50$ мм представлена на рисунку 5.

В результаті другого етапу, а саме експериментальних досліджень і подальшої обробки отриманих даних в програмному пакеті Wolfram Mathematica отримана залежність зміни ступеня чистоти θ_{milk} від факторів досліджень у вигляді

$$\begin{aligned} \theta_{\text{milk}} = & 29,5872 + 1,42395 p_w - 0,0155436 p_w^2 + 0,0640533 Q_v - \\ & - 0,0000718187 p_w Q_v + 0,000110483 Q_v^2 - 0,121902 t_{\text{inj}} - \\ & - 0,00398034 p_w t_{\text{inj}} + 0,000214527 Q_v t_{\text{inj}} - 0,080346 t_{\text{inj}}^2 + 1,64717 t_p + \\ & + 0,00567526 p_w t_p + 0,00148151 Q_v t_p + 0,129843 t_{\text{inj}} t_p - 0,389542 t_p^2. \end{aligned} \quad (8)$$

Графічна інтерпретація теоретичної залежності (8) при $Q_v = 100$ л/хв. представлена на рисунку 4.

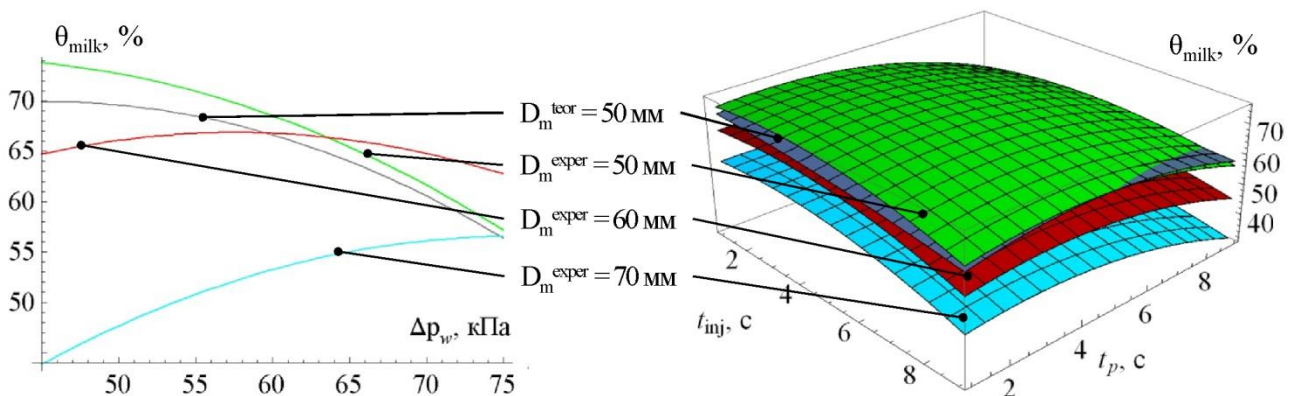


Рисунок 4 – Залежність значення ступеня чистоти молокопроводу θ_{milk} від робочого вакуумметричного тиску p_w , тривалості такту впрыскування повітряного інжектора t_{inj} і тривалості паузи повітряного інжектора t_p

Аналіз рисунку 4 та залежностей (6) і (8) дає змогу стверджувати про варіативність режимів роботи інжектора. Так із збільшенням робочого вакуумметричного тиску p_w ступень чистоти молокопроводу θ_{milk} збільшується. Зазначене спостереження є досить логічним, так як збільшується взаємодія ударної хвилі, що виникає в наслідок пульсацій вакуумметричного тиску, із шаром молока на стінках молокопроводу. Для тривалості тактів впрыскування t_{inj} і паузи t_p повітряного інжектору спостерігається оптимум при якому ступень чистоти молокопроводу θ_{milk} є максимальним. При найменших значеннях тактів швидкість розповсюдження ударної хвилі є високою, що призводить до зменшення швидкості її взаємодії із шаром молока на стінках молокопроводу. При найбільших значеннях тактів величина ударної хвилі є не великою, що призводить до менш руйнівної дії на шар молока, який розміщено на стінках молокопроводу.

Порівнюючи теоретичну (6) і експериментальну (8) залежності за критерієм Фішера $F = 1,88 < F_{0,05}(17;26) = 2,04$, коефіцієнтом кореляції Пірсона $r = 0,98$ і коефіцієнтом детермінації $R^2 = 0,96$ можна стверджувати про адекватність теоретичних досліджень.

В результаті експериментальних досліджень і подальшої обробки отриманих даних в програмному пакеті Wolfram Mathematica отримана залежність зміни тиску за час такту впрыскування і паузи повітряного інжектора (швидкість зміни тиску) від факторів досліджень у вигляді

$$\begin{aligned} \frac{\Delta p}{\Delta t} = & -9,25598 + 2,04533 p_w - 0,0117884 p_w^2 + 0,145057 Q_v - \\ & - 12,0428 t_{\text{inj}} - 0,0504414 p_w t_{\text{inj}} + 0,796128 t_{\text{inj}}^2 - 4,45978 t_p - \\ & - 0,0270083 p_w t_p + 0,812068 t_{\text{inj}} t_p. \end{aligned} \quad (9)$$

Графічна інтерпретація теоретичної залежності (9) при $Q_v = 100$ л/хв. представлена на рисунку 5.

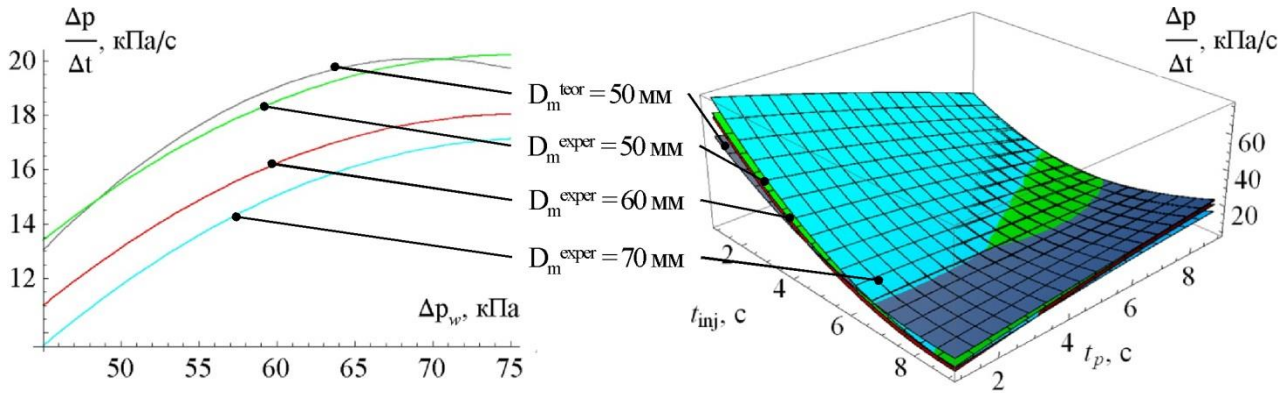
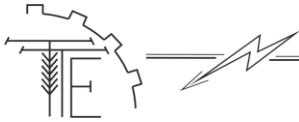


Рисунок 5 – Залежність значення швидкості зміни тиску $\frac{\Delta p}{\Delta t}$ від робочого

вакуумметричного тиску p_w , тривалості такту впрыскування повітряного інжектору t_{inj} і тривалості паузи повітряного інжектору t_p

Із збільшенням робочого вакуумметричного тиску p_w і тривалості паузи повітряного інжектору t_p швидкість зміни тиску збільшується. І навпаки із збільшенням тривалості такту впрыскування повітряного інжектору t_{inj} швидкість зміни тиску зменшується.

Порівнюючи теоретичну (7) і експериментальну (9) залежності за критерієм Фішера $F = 1,15 < F_{0,05}(17;26) = 2,04$, коефіцієнтом кореляції Пірсона $r = 0,99$ і коефіцієнтом детермінації $R^2 = 0,98$ можна стверджувати про адекватність теоретичних досліджень.

В зв'язку з тим, що раціональні параметри теоретичних (6)–(7) і експериментальних (8)–(9) залежностей відрізняються, то необхідно вирішити компромісну задачу, яка зводиться до мінімізації значення швидкості зміни тиску при найбільшому значенні ступеня чистоти молокопроводу:

$$\begin{cases} \theta_{milk}^{teor.}(D_m, p_w, t_{inj}, t_p) \rightarrow \max, \\ \theta_{milk}^{exper.}(p_w, t_{inj}, t_p, Q_v) \rightarrow \max, \\ \left(\frac{\Delta p}{\Delta t}\right)^{teor.}(D_m, p_w, t_{inj}, t_p) \rightarrow \min, \\ \left(\frac{\Delta p}{\Delta t}\right)^{exper.}(p_w, t_{inj}, t_p, Q_v) \rightarrow \min. \end{cases} \quad (10)$$

Вирішуючи систему рівнянь (10) в програмному пакеті Wolfram Mathematica для різних значень діаметра молокопроводу отримуємо відповідні раціональні параметри режимів роботи інжектора:

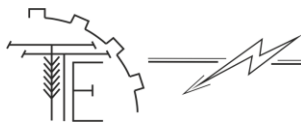
при $D = 50$ мм $\rightarrow p_w = 45,0$ кПа, $t_{inj} = 6,1$ с, $t_p = 3,8$ с, $Q_v = 300$ л/хв,

$$\theta_{milk} = 92,3 \%, \quad \frac{\Delta p}{\Delta t} = 42,0 \text{ кПа/с};$$

при $D = 60$ мм $\rightarrow p_w = 45,0$ кПа, $t_{inj} = 6,1$ с, $t_p = 3,5$ с, $Q_v = 300$ л/хв, (11)

$$\theta_{milk} = 92,1 \%, \quad \frac{\Delta p}{\Delta t} = 42,1 \text{ кПа/с};$$

при $D = 70$ мм $\rightarrow p_w = 60,6$ кПа, $t_{inj} = 5,9$ с, $t_p = 3,4$ с, $Q_v = 300$ л/хв,



$$\theta_{\text{milk}} = 88,4 \%, \frac{\Delta p}{\Delta t} = 40,0 \text{ кПа/с.}$$

5. Висновок

В результаті чисельного моделювання в програмному пакеті STAR-CCM+ і експериментальних досліджень процесу промивання молокопроводної лінії доїльної установки із використанням інжектора було встановлені залежності зміни швидкості тиску $\Delta P/\Delta t$ і значення ступеня чистоти молокопроводу θ_{milk} при різних значень його діаметру D_m від робочого вакуумметричного тиску p_w , тривалості такту вприскування повітряного інжектору t_{inj} і тривалості паузи повітряного інжектору t_p .

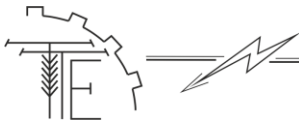
Порівнюючи теоретичну і експериментальну залежності зміни швидкості тиску $\Delta P/\Delta t$ за критерієм Фішера $F = 1,88 < F_{0,05}(17;26) = 2,04$, коефіцієнтом кореляції Пірсона $r = 0,98$ і коефіцієнтом детермінації $R^2 = 0,96$ можна стверджувати про адекватність теоретичних досліджень.

Порівнюючи теоретичну і експериментальну залежності ступеня чистоти молокопроводу θ_{milk} за критерієм Фішера $F = 1,15 < F_{0,05}(17;26) = 2,04$, коефіцієнтом кореляції Пірсона $r = 0,99$ і коефіцієнтом детермінації $R^2 = 0,98$ можна стверджувати про адекватність теоретичних досліджень.

Вирішуючи компромісну задачу, яка зводиться до мінімізації значення швидкості зміни тиску при найбільшому значенні ступеня чистоти молокопроводу для різних значень діаметра молокопроводу отримані відповідні раціональні параметри режимів роботи інжектора: при $D = 50 \text{ мм} \rightarrow p_w = 45,0 \text{ кПа}$, $t_{\text{inj}} = 6,1 \text{ с}$, $t_p = 3,8 \text{ с}$, $Q_v = 300 \text{ л/хв}$, $\theta_{\text{milk}} = 92,3 \%$, $\Delta P/\Delta t = 42,0 \text{ кПа/с}$; при $D = 60 \text{ мм} \rightarrow p_w = 45,0 \text{ кПа}$, $t_{\text{inj}} = 6,1 \text{ с}$, $t_p = 3,5 \text{ с}$, $Q_v = 300 \text{ л/хв}$, $\theta_{\text{milk}} = 92,1 \%$, $\Delta P/\Delta t = 42,1 \text{ кПа/с}$; при $D = 70 \text{ мм} \rightarrow p_w = 60,6 \text{ кПа}$, $t_{\text{inj}} = 5,9 \text{ с}$, $t_p = 3,4 \text{ с}$, $Q_v = 300 \text{ л/хв}$, $\theta_{\text{milk}} = 88,4 \%$, $\Delta P/\Delta t = 40,0 \text{ кПа/с}$.

Список використаних джерел

1. Ушаков Ю. А., Терехов О. Н., Василевский Г. П., Данилова, Н. Г. Сохранение качества молока инженерными методами. *Достижения науки и техники АПК*. 2014. № 5. С. 53–56.
2. Инженерные методы обеспечения качества молока / Л. П. Карташов та ін. *Механізація та електрифікація сільського господарства*. Глеваха. 2010. Вип. 84. С. 26–29.
3. Березуцкий В. И. Совершенствование технологии циркуляционной мойки молокопровода доильной установки УДС-3А : дис. ... канд. техн. наук : 05.20.01. Азово-Черноморская государственная агроинженерная академия. Зерноград, 2000. 158 с.
4. Цой Ю. А., Мамедова Р. А. Параметры пробкового режима течения жидкости в молокопроводе при промывке. *Техника в сельском хозяйстве*. 2007. № 2. С. 3–4.
5. Шевченко І. А., Алієв Е. Б. Науково-методичні рекомендації з багатокритеріального виробничого контролю доїльних установок / за ред. д-ра. тех. наук, проф., член-кореспондента НААН України, І.А. Шевченка. Запоріжжя: Акцент Інвест-трейд. 2013, 156 с. ISBN 978-966-2602-41-VIII.
6. Coj J. A., Mamedova R. A. The influence of parameters milk pipeline of milking installation on modes of motion an gas-liquid to mixtures. *Problemy intensyfikacji produkcji zwierzecej z uwzględnieniem ochrony środowiska i standardów UE*. Warszawa. 2005. P. 355–359.
7. Алієв Е. Б. Оптимізація техніко-технологічних параметрів вакуумної системи доїльної установки. *Зб. наук. праць Таврійського державного агро-технологічного університету*. Мелітополь: ТДАТУ. 2011. Вип. 12. Т.1. С. 138–147.
8. Линник Ю. О., Павленко С. І., Алієв Е. Б., Грицун А. В. Результаты чисельного моделирования рабочего процесса ротационного пластинчатого вакуумного насоса доильной установки. *Зб. наук. праць Вінницького національного аграрного університету. Серія: Технічні науки*. Вінниця. 2014. № 2(85). С. 74.–80.
9. Бабин І. А. Дослідження метрологічних характеристик пристрою для вимірювання вакуумметричних параметрів лінії промивки доїльної установки. *Техніка, енергетика, транспорт АПК*. ВНАУ 2018. № 3(102). С. 5–10.
10. Статистична обробка і оформлення результатів експериментальних досліджень (із досвіду написання дисертаційних робіт) : навч. посіб. / Кисельов О. В., Комарова І. Б., Мілько Д. О., Бакарджієв Р. О. ; за заг. ред. Д. О. Мілька. Інститут механізації тваринництва НААН. Електронний аналог друкованого видання (електронна книга). Запоріжжя : СТАТУС, 2017. 1181 с.



11. Основи перспективних технологій виробництва продукції тваринництва / Калетнік Г. М., Кулик М. Ф., Петриченко В. Ф. та ін. Вінниця: «Енозіс», 2007. 584 с.

References

- [1] Ushakov, YU. A., Terekhov, A. N., Vasilevskiy, H. P., Danilova, N.G. (2014). Sokhraneniye kachestva moloka inzhenernymi metodami. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK*, (5), 53–56. [in Russian].
- [2] Kartashov, L. P., Ushakov, YU. A., Kolpakov, A. V., Korolev, A. S., Panin, A. A. Vasilevskiy, H. P. (2010). Inzhenernyye metody obespecheniya kachestva moloka. *Mekhanizatsiya i elektrifikatsiya cil'skogo khozyaystva*. Glevakha, (84), 26–29. [in Russian].
- [3] Berezutskiy, V. I. (2000). Sovershenstvovaniye tekhnologii tsirkulyatsionnoy moyki molokoprovoda doil'noy ustanovki UDS-3A [Improving the technology of circulation washing of the milk pipeline of the UDS-3A milking unit] (*Candidate's thesis*). Zernograd. [in Russian].
- [4] Tsoy, YU. A., Mamedova, R. A. (2007). Parametry probkovogo rezhima techeniya zhidkosty v molokoprovodnykh pri promyvke. *Tekhnika v sel'skom khozyaystve*, (2), 3–4. [in Russian].
- [5] Shevchenko, I. A., Aliyev, Ye. B. (2013). *Nauchno-metodicheskiye rekomendatsii po mnogokriterial'nogo proizvodstvennogo kontrolya doil'nykh ustanovok / Pod redaktsiyey doktora tekhnicheskikh nauk, professora, chlen-korrespondenta NAAN Ukrainy, I.A. Shevchenko*. Zaporozh'ye: Aktsent Invest-treйд. [in Ukrainian].
- [6] Coj, J. A., Mamedova, R. A. (2005). The influence of parameters milk pipeline of milking installation on modes of motionan gas-liquid to mixtures. *Problemy intensyfikacji produkcji zwierzecej z uwzględnieniem ochrony środowiska i standardów UE*. Warszawa. 355–359. [in English].
- [7] Aliyev, Ye. B. (2011). Optimizatsiya tekhniko-tekhnologicheskikh parametrov vakuumnoy sistemy doil'noy ustanovki. *Sb. nauk. rabot Tavricheskogo gosudarstvennogo agro-tekhnologicheskogo universiteta*. Melitopol': TDATU. (12), 138–147. [in Ukrainian].
- [8] Linnik, YU. A., Pavlenko, S. I., Aliyev, Ye. B., Gritsun A. V. (2014). Rezul'taty chislennogo modelirovaniya rabocheho protsessa rotatsionnogo plastinchatogo vakuumnogo nasosa doil'noy ustanovki. *Sb. nauk, trudov Vinnitskogo natsional'nogo agrarnogo universiteta. Seriya: Tekhnicheskkiye nauki*, 2(85). 74–80. [in Ukrainian].
- [9] Babyn, I. A. (2018). Issledovaniye metrologicheskikh kharakteristik ustroystva dlya izmereniya vakuummicheskikh parametrov linii promyvki doil'noy ustanovki. *Tekhnika, energetika, transport APK*, 3(102), 5–10. [in Ukrainian].
- [10] Kiselev, O. V., Komarova, I. B., Mil'ko, D. A., Bakardzhiyev, R. A. (2017). *Statisticheskaya obrabotka i oformleniye rezul'tatov eksperimental'nykh issledovaniy (iz opyta napisaniya dissertatsionnykh rabot): Uchebnoye posobiye*. Pod obshch. red. D. A. Mil'ko. Institut mekhanizatsii zhivotnovodstva NAAN. Elektronnyy analog pechatnogo izdaniya (elektronnaya kniga). Zaporozh'ye STATUS. [in Ukrainian].
- [11] Kaletnik, H., Kulyk, M., Petrychenko, V., Khorishko, V. (2007). *Osnovy perspektivnykh tekhnolohiy vyrobnytstva produktsiyi tvarynnystva [Basis of advanced technologies of livestock production]* Vinnytsya: Enozis. [in Ukrainian].

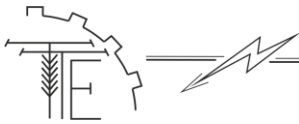
ОБОСНОВАНИЕ РЕЖИМОВ РАБОТЫ СИСТЕМЫ ПРОМЫВКИ МОЛОКОПРОВОДОВ ДОИЛЬНОЙ УСТАНОВКИ

В результате длительной эксплуатации молокопроводных линий доильных установок на их внутренних поверхностях образуются различные по составу, свойствам, толщине, прочности сцепления с поверхностью отложения щелочной и кислотной природы. Их наличие приводит к бактериальному загрязнению молока, в результате чего происходит снижение его качества и срока хранения.

Процесс промывки элементов доильных установок является одной из важнейших технологических операций, от эффективности выполнения которой зависит уровень первичной загрязненности молока.

Целью является исследование режимных параметров работы воздушного инжектора системы промывки молокопроводов доильной установки и обоснования их рациональных значений.

В результате численного моделирования в программном пакете STAR-CCM + и экспериментальных исследований процесса промывки молокопроводной линии доильной



установки с использованием инжектора были установлены зависимости изменения скорости давления и значение степени чистоты молокопровода при различных значений его диаметра от рабочего вакуумметрического давления, длительности такта впрыска воздушного инжектору и продолжительности паузы воздушного инжектора.

Сравнивая теоретическую и экспериментальную зависимости изменения скорости давления по критерию Фишера, коэффициенту корреляции Пирсона и коэффициенту детерминации можно утверждать про адекватность теоретических исследований.

Сравнивая теоретическую и экспериментальную зависимости степени чистоты молокопровода по критерию Фишера, коэффициенту корреляции Пирсона и коэффициенту детерминации можно утверждать об адекватности теоретических исследований.

Решая компромиссную задачу, которая сводится к минимизации значения скорости изменения давления при наибольшем значении степени чистоты молокопровода для различных значений диаметра молокопровода получены соответствующие рациональные параметры режимов работы инжектора.

Ключевые слова: молоко, доильная установка, промывка, режимы, численное моделирование, экспериментальные исследования

Рис. 5. Таб. 2. Лит. 11.

JUSTIFICATION OF THE MODES OF THE MILK WASHING SYSTEM OF THE MILKING INSTALLATION

Keywords: milk As a result of long-term operation of the milk-conducting lines of milking machines on their internal surfaces various in composition, properties, thickness, strength of adhesion to the deposition surface of alkaline and acidic nature are formed. Their presence leads to bacterial contamination of milk, resulting in a decrease in its quality and shelf life.

The process of washing the elements of milking machines is one of the most important technological operations, the efficiency of which depends on the level of primary contamination of milk.

The purpose is to investigate the operating parameters of the air injector operation of the milkweed flushing system of the milking plant and to substantiate their rational values.

As a result of numerical modeling in the software package STAR-CCM + and experimental studies of the process of washing the milk line of the milking plant using an injector, the dependence of the change in the speed of pressure and the value of the degree of purity of the milk line at different values of its diameter from the working vacuum injection time and injection injection time pauses of the air injector.

Comparing the theoretical and experimental dependences of the Fisher pressure velocity changes, the Pearson correlation coefficient and the determination coefficient can confirm the adequacy of theoretical studies.

Comparing the theoretical and experimental dependence of the degree of purity of the milk line by Fisher's criterion, the Pearson correlation coefficient and the coefficient of determination can confirm the adequacy of theoretical studies.

Solving the compromise problem, which minimizes the value of the rate of change of pressure at the highest value of the degree of purity of the milk line for different values of the diameter of the milk line obtained the corresponding rational parameters of the modes of operation of the injector.

, milking machine, washing, modes, numerical modeling, experimental studies

Fig. 5. Tab. 2. Ref. 11.

ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ

Бабин Ігор Анатолійович – асистент кафедри «Машини та обладнання сільськогосподарського виробництва» Вінницького національного аграрного університету (вул. Сонячна, 3, м. Вінниця, 21008, Україна, e-mail: babyn@vsau.vin.ua).

Бабин Ігорь Анатольевич – ассистент кафедры «Машини и оборудование сельскохозяйственного производства» Винницкого национального аграрного университета (ул. Солнечная, 3, г. Винница, 21008, Украина, e-mail: babyn@vsau.vin.ua)

Babyn Ihor – assistant of the department Agricultural machinery and equipment of Vinnytsia National Agrarian University (3, Solnyshchaya str., Vinnytsia, 21008, Ukraine, e-mail: babyn@vsau.vin.ua).