

НАУКОВІ ГОРИЗОНТИ



Засновник, редакція, видавець –

ЖИТОМИРСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРОЕКОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Свідоцтво про державну реєстрацію
Серія КВ № 23134-12974 ПР від 19.02.2018 р.

Науковий журнал включено до категорії Б Переліку наукових фахових видань України, в яких можуть публікуватися результати дисертаційних робіт на здобуття наукових ступенів доктора і кандидата ветеринарних, економічних, сільськогосподарських та технічних наук зі спеціальностей – 051, 071, 072, 073, 075, 076, 101, 133, 183, 201, 202, 203, 204, 205, 206, 208, 211, 281, 292 (наказ МОН України № 1643 від 28.12.2019 р., наказ МОН України № 409 від 17.03.2020 р.).

Журнал включено до міжнародних наукометричних баз і каталогів наукових видань: Index Copernicus; Directory of Open Access Journals (DOAJ); Google Scholar; Crossref; Національна бібліотека України імені В. І. Вернадського.

Друкується за рішенням Вченої ради
ЖНАЕУ, протокол № 8 від 11.03.2020 р.

Підписано до друку 11.03.2020 р.

Формат 210x297. Ум. друк. арк. 11,3.
Наклад 100 пр.

ISSN: 2663-2144

© Житомирський національний
агроекологічний університет, 2020

SCIENTIFIC HORIZONS



Founder, Editorial and Publisher –

ZHYTOMYR NATIONAL AGROECOLOGICAL UNIVERSITY

**Certificate of state registration
KV № 23134-12974 PR of February 19, 2018.**

The scientific journal is included in category B of the List of scientific professional periodicals of Ukraine. It enables publishing the thesis results for Doctor and Candidate degrees in economic agricultural, technical and veterinary sciences (Order of the Ministry of Education and Science of Ukraine No 1643 of December 28, 2019; Order of the Ministry of Education and Science of Ukraine No 409 of March 18, 2020). It comprises the following specialties – 051, 071, 072, 073, 075, 076, 101, 133, 183, 201, 202, 203, 204, 205, 206, 208, 211, 281, 292.

The journal is included in the international scientific databases and catalogs of scientific publications: Index Copernicus; Directory of Open Access Journals (DOAJ); Google Scholar; Crossref; National Library of Ukraine named after V. I. Vernadskiy.

Recommended for publication by the decision of the Academic Council ZhNAU Minutes No. 8 of 11.03.2020.

Signed for publication 11.03.2020.

ISSN: 2663-2144

Format 210x297.
Circulation 100 copies
© Zhytomyr National
Agroecological University, 2020

НАУКОВІ ГОРИЗОНТИ

№ 3 (88),
2020

НАУКОВИЙ ЖУРНАЛ

Засновано 12 березня 1998 р.

Періодичність випуску: дванадцять разів на рік

Редакційна колегія:

Головний редактор: Л. Д. Романчук, д. с.-г. н. (Україна)

**Заступники
головного редактора:** Ю. Раманаускас, д. н. (Литва)
Л. П. Горальський, д. вет. н. (Україна)
С. М. Кухарець, д. т. н. (Україна)

**Відповідальні
секретарі:** Н. О. Куровська, к. е. н. (Україна)
Т. М. Тимошук, к. с.-г. н. (Україна)

Л. М. Бондарева, к. с.-г. н. (Україна)	О. В. Медведський, к. т. н. (Україна)
С. І. Веремесенко, д. с.-г. н. (Україна)	А. М. Михайлов, д. е. н. (Україна)
В. В. Гамаюнова, д. с.-г. н. (Україна)	К. В. Молодецька, д. т. н. (Україна)
І. Г. Грабар, д. т. н. (Україна)	В. В. Мойсієнко, д. с.-г. н. (Україна)
І. М. Дідур, к. с.-г. н. (Україна)	М. Ф. Плотнікова, к. е. н. (Україна)
В. Є. Данкевич, д. е. н. (Україна)	Я.-У. Санда, д. н. (Норвегія)
В. П. Журавльов, д. ф.-м. н. (Україна)	О. В. Скидан, д. е. н. (Україна)
А. А. Зимаросєва, к. б. н. (Україна)	З. Собек, д. н. (Польща)
В. В. Зіновчук, д. е. н. (Україна)	Н. М. Сорока, д. вет. н. (Україна)
Т. О. Зінчук, д. е. н. (Україна)	Р. В. Ставецька, д. с.-г. н. (Україна)
І. Є. Іванова, к. с.-г. н. (Україна)	Т. П. Федонюк, д. с.-г. н. (Україна)
І. В. Іващенко, к. б. н. (Україна)	О. В. Чайкін, к. е. н. (Україна)
Н. Л. Колеснік, к. вет. н. (Україна)	Л. В. Чижевська, д. е. н. (Україна)
Л. А. Котюк, д. б. н. (Україна)	П. Я. Чумак, к. с.-г. н. (Україна)
С. М. Кульман, к. т. н. (Україна)	Е. Шараускіс, д. н. (Литва)
Н. М. Куцмус, д. е. н. (Україна)	Л. В. Шірінян, д. е. н. (Україна)
І. Левкович, д. н. (Німеччина)	В. П. Шлапак, д. с.-г. н. (Україна)
А. Т. Мармоза, к. е. н. (Україна)	Я. Д. Ярош, д. т. н. (Україна)
О. Є. Марковська, д. с.-г. н. (Україна)	

Редагування англomовних текстів: Г. О. Хант, О. М. Мосейчук, К. А. Разумна

Літературний редактор: Л. В. Якубовська

Редагування бібліографічних списків: О. І. Касянюк, Н. Г. Яремчук

Макетування: М. М. Кравчук

Адреса редакції та видавництва:

10008, м. Житомир, бульвар Старий, 7, ЖНАЕУ, Україна.

Тел. (0412) 22-04-17; E-mail: schor.znau@gmail.com; [www: http://journal.znau.edu.ua/horizons](http://journal.znau.edu.ua/horizons)

SCIENTIFIC HORIZONS

№ 3 (88),
2020

SCIENTIFIC JOURNAL

Year of establishment: since March 1998.

Publication frequency: twelve times a year

Editorial Board:

Editor-in-chief: L. Romanchuk, Dr. of Agr. Sc. (Ukraine)

Deputies editor-in-chief: J. Ramanauskas, Dr. Hab. (Lithuania)
L. Goralsky, Dr. of Vt. Sc. (Ukraine)
S. Kuharets, Dr. of Eng. Sc. (Ukraine)

Executive editors: N. Kurovska, Cand. of Ec. Sc. (Ukraine)
T. Tymoshchuk, Cand. of Agr. Sc. (Ukraine)

L. Bondareva, Cand. of Agr. Sc. (Ukraine)
S. Veremeyenko, Dr. of Agr. Sc. (Ukraine)
V. Gamayunova, Dr. of Agr. Sc. (Ukraine)
I. Grabar, Dr. of Eng. Sc. (Ukraine)
I. Didur, Cand. of Agr. Sc. (Ukraine)
V. Dankevych, Dr. of Ec. Sc. (Ukraine)
V. Zhuravlyov, Dr. of Phys. and Math. Sc. (Ukraine)
A. Zymarioieva, Cand. of Biol. Sc. (Ukraine)
V. Zinovchuk, Dr. of Ec. Sc. (Ukraine)
T. Zinchuk, Dr. of Ec. Sc. (Ukraine)
I. Ivanova, Cand. of Agr. Sc. (Ukraine)
I. Ivashchenko, Cand. of Biol. Sc. (Ukraine)
N. Kolesnik, Cand. of Vt. Sc. (Ukraine)
L. Kotyuk, Dr. of Biol. Sc. (Ukraine)
S. Kulman, Dr. of Eng. Sc. (Ukraine)
N. Kutsmus, Dr. of Ec. Sc. (Ukraine)
I. Levkovysh, Fil. Dr. (Germany)
A. Marmoza, Cand. of Ec. Sc. (Ukraine)
O. Markovska, Dr. of Agr. Sc. (Ukraine)
O. Medvedskyi, Cand. of Eng. Sc. (Ukraine)
A. Mykhailov, Dr. of Ec. Sc. (Ukraine)
K. Molodetska, Dr. of Eng. Sc. (Ukraine)
V. Moisiienko, Dr. of Agr. Sc. (Ukraine)
M. Plotnikova, Cand. of Ec. Sc. (Ukraine)
Jan-U. Sandal, Fil. Dr. (Norway)
O. Skydan, Dr. of Ec. Sc. (Ukraine)
Z. Sobek, Dr. Hab. (Poland)
N. Soroka, Dr. of Vt. Sc. (Ukraine)
R. Stavetska, Dr. of Agr. Sc. (Ukraine)
T. Fedonyuk, Dr. of Agr. Sc. (Ukraine)
O. Chaikin, Cand. of Ec. Sc. (Ukraine)
L. Chyzhevska, Dr. of Ec. Sc. (Ukraine)
P. Chumak, Cand. of Agr. Sc. (Ukraine)
E. Sarauskis, Dr. Hab. (Lithuania)
L. Shirinyan, Dr. of Ec. Sc. (Ukraine)
V. Shlapak, Dr. of Agr. Sc. (Ukraine)
Ya. Yarosh, Dr. of Eng. Sc. (Ukraine)

Editing English-language texts: G. Khant, O. Moseichuk, K. Razumna

Literary editor: L. Yyakubovska

Editing bibliographic lists: O. Kasyanyuk, N. Yaremchuk

Modeling: M. Kravchuk

Address of the publishers:

10008, 7, Staryi Blvd, Zhytomyr, ZhNAU, Ukraine

Tel. (0412) 22-04-17; E-mail: schor.znau@gmail.com; www: <http://journal.znau.edu.ua/horizons>



UDC 637.115:621.517

**EXPERIMENTAL STUDIES OF THE AIR INJECTOR SYSTEM OPERATING MODES
OF THE MILK WASHING SYSTEM**

I. Gunko, I. Babyn, V. Pryshliak

Article info

Received
07.02.2020

Accepted
11.03.2020

Vinnitsia
National
Agricultural
University
3, Sonyachna Str.
Vinnitsia,
21008, Ukraine

E-mail:
viktor.prishlyak@i.ua;
ihorbabyn@gmail.com

Gunko, I., Babyn, I., Pryshliak, V. (2020). Experimental studies of the air injector system operating modes of the milk washing system. Scientific Horizons, 03 (88), 44–53. doi: 10.33249/2663-2144-2020-88-3-44-53.

The use of modern methods of efficient purification of milking machines on livestock farms is an important way of improving the quality of milk, in accordance with the sanitary and hygienic standards of its production. In order to improve the quality of washing, we propose to use an injector that performs the function of periodically supplying air into the volume of the milk line, thereby creating significant variations in vacuum pressure and, consequently, a controlled hydraulic shock, the control of which must be carried out using automated milking systems.

As a result of scientific experimental research and production verification of the efficiency of functioning, the goal was achieved – to confirm the adequacy of theoretical prerequisites for the design and optimization of operating modes of the air injector of the milking system flushing milking plant and determine its rational dimensional characteristics. In particular, as a result of experimental studies of the modes of operation of the air injector of the milk-washing system of the milking plant, the dependence of the rate of pressure change and change of the degree of purity of the milk line on the working vacuum pressure, the volume flow rate of air through the air injector, the duration of the injection time of the air injector and the duration of the air injection were established. Thus, as the working vacuum pressure increases, the volume flow rate of the air through the air injector and the duration of the pause of the air injector, the rate of change of pressure increases. Conversely, as the duration of the injection of the air injector increases, the rate of pressure change decreases.

Experimental studies were carried out at the experimental stand on the basis of a laboratory milking machine with available upper and lower milk ducts with a flushing apparatus manufactured by OJSC “Bratslav”. 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 obtained the corresponding rational parameters of the modes of operation of the injector. Prospects for further research are the creation of a production sample of an auto-controlled injector that creates vacuum and hydraulic shock.

Key words: *milking machine, flushing system, injector, parameters, experimental studies, frequency.*

**ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ РЕЖИМІВ РОБОТИ ПОВІТРЯНОГО ІНЖЕКТОРА
СИСТЕМИ ПРОМИВАННЯ МОЛОКОПРОВІДІВ ДОЇЛЬНОЇ УСТАНОВКИ**

І. В. Гунько, І. А. Бабін, В. М. Пришляк
Вінницький національний аграрний університет,
вул. Сонячна, 3, м. Вінниця, 21008, Україна

Застосування сучасних методів ефективного очищення молокопроводів доїльних установок на

тваринницьких фермах – це важливий шлях поліпшення якості молока, відповідно до санітарно-гігієнічних норм його виробництва. Для поліпшення якості промивки нами запропоновано використовувати інжектор, який виконує функцію періодичної подачі повітря в об'єм молокопровідної лінії, створюючи при цьому значні коливання вакуумметричного тиску і, як наслідок, керований гідроудар, керування якого повинно здійснюватися з використанням автоматизованих систем молочно-доїльного обладнання.

У результаті проведення наукових експериментальних досліджень та виробничої перевірки ефективності функціонування була досягнута мета – підтвердження адекватності теоретичних передумов розробки конструкції та оптимізації режимів роботи повітряного інжектора системи промивання молокопроводів доїльної установки і визначення його раціональних розмірних характеристик. Зокрема, в результаті експериментальних досліджень режимів роботи повітряного інжектора системи промивання молокопроводів доїльної установки були встановлені залежності швидкості зміни тиску і зміни значення ступеня чистоти молокопроводу від робочого вакуумметричного тиску, об'ємних витрат повітря через повітряний інжектор, тривалості такту вприскування повітряного інжектора і тривалості паузи повітряного інжектора. Так із збільшенням робочого вакуумметричного тиску, об'ємних витрат повітря через повітряний інжектор і тривалості паузи повітряного інжектора швидкість зміни тиску збільшується. І, навпаки, із збільшенням тривалості такту вприскування повітряного інжектора швидкість зміни тиску зменшується.

Експериментальні дослідження проводилися на експериментальному стенді на базі лабораторної доїльної установки із наявними верхнім і нижнім молокопроводами із апаратом промивки виробництва ВАТ «Брацлав». Вирішуючи компромісне завдання, яке зводиться до мінімізації значення швидкості зміни тиску при найбільшому значенні ступеня чистоти молокопроводу, отримані відповідні раціональні параметри режимів роботи інжектора. Перспективами подальших досліджень є створення виробничого зразка інжектора з автоматичним керуванням, який створює коливання вакууму і гідроудар.

Ключові слова: доїльна установка, система промивки, інжектор, параметри, експериментальні дослідження, ступень частоти.

Вступ

Серед показників якості молока, що визначають його технологічні властивості як сировини для подальшої переробки найважливішим є бактеріальна забрудненість (Soj & Mamedova, 2005). Цей показник практично повністю залежить від двох зовнішніх факторів санітарного стану доїльного обладнання та охолодження молока. Молоко від вимені корови проходить через доїльні апарати, молокопровід, молокозбірник і, якщо санітарний стан доїльного обладнання незадовільний, то подальше охолодження забрудненого молока не дасть очікуваних результатів (Tsoi & Mamedova, 2007). Тому застосування сучасних методів ефективного очищення молокопроводів доїльних установок – це важливий шлях поліпшення якості молока.

Аналіз систем промивання (Kartashov et al., 2010) виявив такі тенденції розвитку автоматів промивки: перехід від малоємнісних систем заповнення до ємностей зі збільшеним об'ємом; перехід від непрограмованих до програмованих системам промивання; застосування коркового

потoku миючої рідини; підігрів систем промивання (Ushakov et al., 2014). На даному етапі розвитку доїльного обладнання найбільш перспективними є системи промивки з програмованим автоматом. Вони можуть бути адаптовані до доїльних установок різної конфігурації.

Для поліпшення якості промивки нами запропоновано використовувати інжектор, який виконує функцію періодичної подачі повітря в об'єм молокопровідної лінії, створюючи при цьому значні коливання вакуумметричного тиску і, як наслідок, керований гідроудар. Результати проведених досліджень підтверджують доцільність використання розробленого обладнання для автоматичного визначення забрудненості молокопровідної лінії під час виконання технологічної операції промивки молокопровідних систем. При цьому, встановлена залежність товщини шару молока, що рухається в скляній трубці, від опору фоторезистора, на який потрапляє світло, що частково поглинається шаром молока (Pryshlyak & Babyn, 2019). Керування роботою розробленого інжектора повинно здійснюватися з

використанням автоматизованих систем молочно-доїльного обладнання (Aliyev, 2011; Shevchenko & Aliyev, 2013).

Мета досліджень – провести експериментальні дослідження режимів роботи повітряного інжектора системи промивання молокопроводів доїльної установки і визначити його раціональні значення.

Матеріали та методи

Експериментальні дослідження проведені на експериментальному стенді на базі лабораторної доїльної установки із наявними верхнім і нижнім молокопроводами із апаратом промивки виробництва ВАТ «Брацлав». Схема експериментального стенду представлена на рисунку 1.

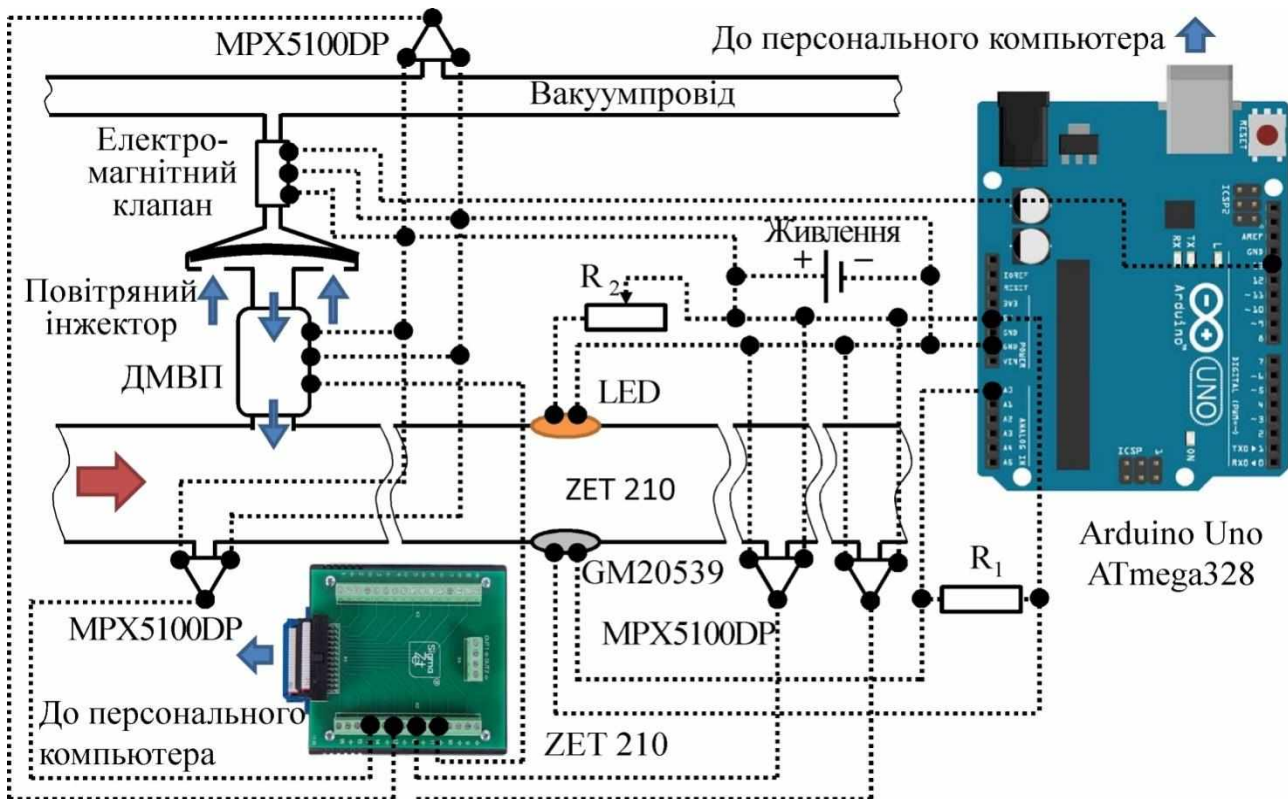


Рис. 1. Схема експериментального стенду для дослідження режимів роботи повітряного інжектора системи промивання молокопроводів доїльної установки

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 світлодіода *LED 1W 100 Lm*, фоторезистора *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 2.

Факторами експериментальних досліджень є

робочий вакуумметричний тиск p_w , тривалість такту вприскування повітряного інжектора t_{inj} , тривалість паузи повітряного інжектора t_p і об'ємні витрати повітря через повітряний інжектор Q_v . Межі та інтервали факторів досліджень представлені в табл. 1.

Робочий вакуумметричний тиск p_w встановлюється на лабораторній доїльній установці з використанням вакуумрегулятора (рис. 3, а) і контролюється датчиком вакуумметричного тиску *MPX5100DP*. Рівняння калібрувальної характеристики датчика вакуумметричного тиску *MPX5100DP* має вигляд (Aliyev, 2012):

$$p = \frac{1}{9} \left(\frac{U_p}{5} - 0,04 \right), \quad (1)$$

де U_p – напруга з датчика вакуумметричного тиску *MPX5100DP*, В.

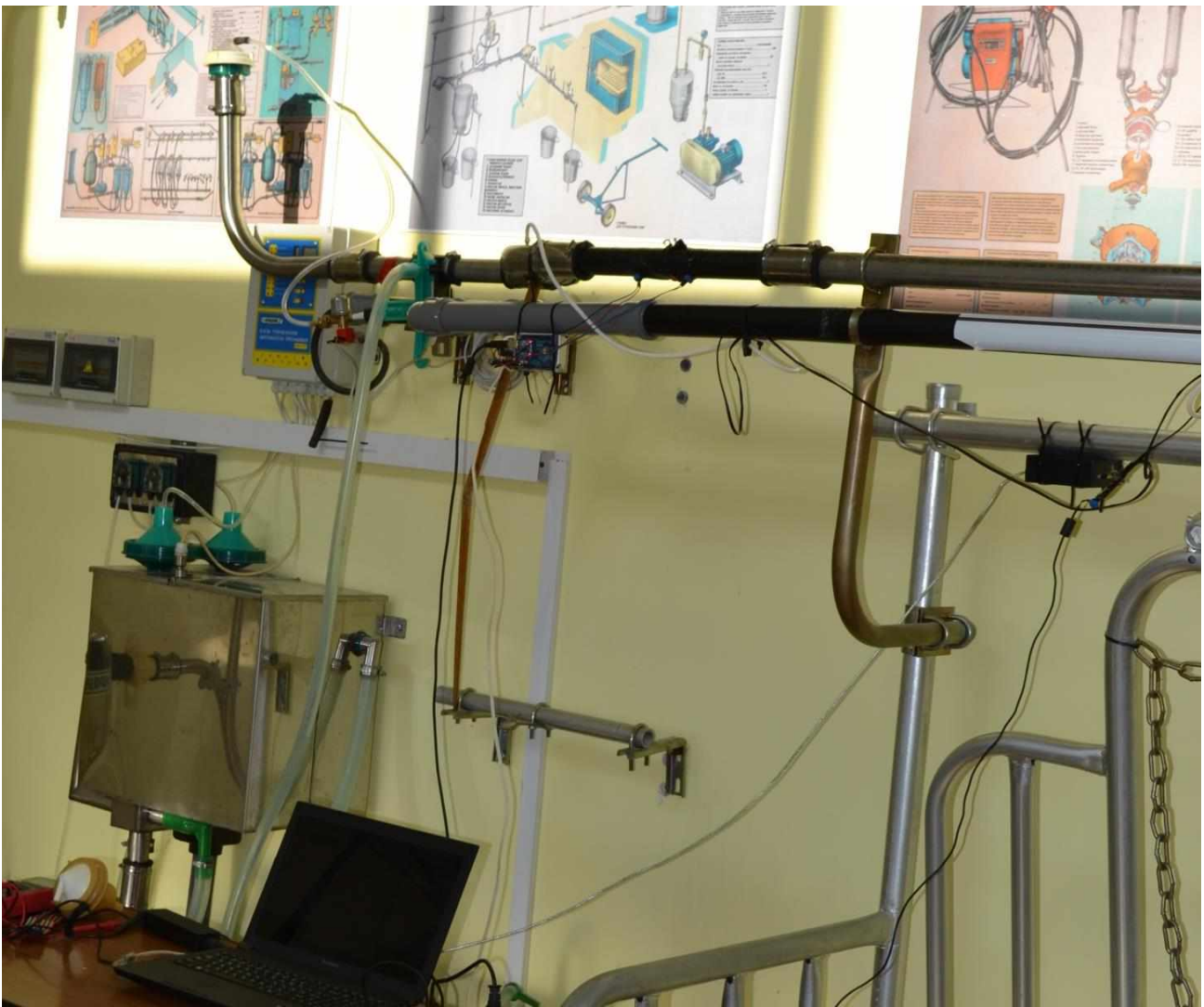


Рис. 2. Загальний вигляд експериментального стенду для дослідження режимів роботи повітряного інжектора системи промивання молокопроводів доїльної установки

Таблиця 1. Межі та інтервали факторів експериментальних досліджень

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

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

Тривалості тактів вприскування t_{inj} і паузи t_p повітряного інжектора встановлюються за допомогою електромагнітного клапана, який

приєднано до плати керування *Arduino Uno ATmega 328*. Похибка тактів впрыскування і паузи складає ± 1 мс.

Об'ємні витрати повітря через повітряний інжектор Q_v встановлюються шляхом перекривання отворів на повітряному інжекторі і контролюються датчиком масових витрат повітря ДМВП *BOSH 280218037*. Перерахунок масових витрат повітря Q_M до об'ємних Q_v здійснюється за наступною формулою:

$$Q_v = \frac{1000}{60} \frac{Q_M}{(101,325 - p_w) \mu_a} R_a T_a, \quad (2)$$

де: R_a – універсальна газова стала,
 $R_a = 8,314$ Дж/(моль·К);

T_a – температура повітря, К;

μ_a – молярна маса повітря, $\mu_a = 28,96$ г/моль;

Q_v – об'ємні витрати повітря, л/хв.;

Q_M – масові витрати повітря, кг/с (Aliyev, 2012):

$$Q_M = 0,0022U_M + 0,0022U_M - 0,0044, \quad (3)$$

U_M – напруга з датчика масових витрат повітря *BOSH 280218037*, В.

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

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

У 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 доїльної установки із повітряним інжектором є ступінь чистоти θ_{milk} , яка визначається як зміна середнього значення товщини шару молока h_{milk} на стінці труби:

$$\theta_{milk} = 100 \frac{h''_{milk} - h'_{milk}}{h'_{milk}}, \quad (6)$$

де: h'_{milk} – початкове значення товщини шару молока на стінці труби, м; h''_{milk} – кінцеве значення товщини шару молока на стінці труби, м.

Відповідно до попередніх лабораторних досліджень (Babyn, 2018) товщина шару молока на стінці труби визначалася з урахуванням

значення опору на фотодатчику за формулою:

$$h_{milk} = \frac{1}{k_{\lambda milk}} \ln \left(\frac{R_f}{R_0} \right), \quad (7)$$

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 (Babyn, 2018), м⁻¹.

Також необхідно було встановити значення інтервалу часу Δt_e за який відбувається стабілізація поточного значення опору на фотодатчику. Зазначений інтервал часу Δt_e характеризує мінімально допустимий час промивання молокопроводу доїльної установки.

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:

$$\frac{\Delta p}{\Delta t} = \frac{p_{max} - p_{min}}{t_{inj} + t_p}. \quad (8)$$

Окрім зазначеного вище критерію якості важливим є градієнт зміни вакуумметричного тиску, який розраховується за формулою:

$$\frac{\Delta p}{\Delta L} = \frac{p_3 - p_1}{2l_p}, \quad (9)$$

де l_p – відстань між датчиками, м.

Чим більше швидкості зміни тиску в молокопроводі доїльної установки, тим більше ймовірність виникнення некерованого гідродудару, 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 товщини шару молока на стінці молокопроводу, мінімально допустимого часу промивання і швидкості зміни тиску.

Експериментальні дослідження проводилися за планом Хартлі–Коно (*Ha-Ko4*) для чотирьох факторів на трьох рівнях із загальною кількістю дослідів – 18 (Kiselev, 2017). Далі, з використанням програмного пакету *Wolfram Mathematica*, визначалася модель регресії другого порядку для кожного із запропонованих критеріїв.

Результати досліджень та обговорення

В результаті досліджень для кожного досліду отримана динаміка вакуумметричного тиску на кожному з підключених датчиків (p_0 , p_1 , p_2 , p_3). Дано пояснення щодо процесів, які спостерігаються на відповідних графіках (рис. 3). Під час відкривання повітряного інжектора (тобто сполучання його із атмосферним тиском) відбувається різке падіння вакуумметричного тиску практично до 0 кПа, що спричиняє від'ємний гідроудар. За рахунок постійної роботи

вакуумного насоса і наявності ресивера значення вакуумметричного тиску наближається до робочого p_0 із певними затухаючими коливаннями. Далі повітряний інжектор закривається (різко зникає сполучанням із атмосферним тиском), що спричиняє різке підвищення вакуумметричного тиску (практично у два рази) і, відповідно, позитивний гідроудар. За рахунок постійної роботи вакуумного насоса і наявності ресивера значення вакуумметричного тиску вирівнюється до робочого p_0 за функцією затухаючого синуса.

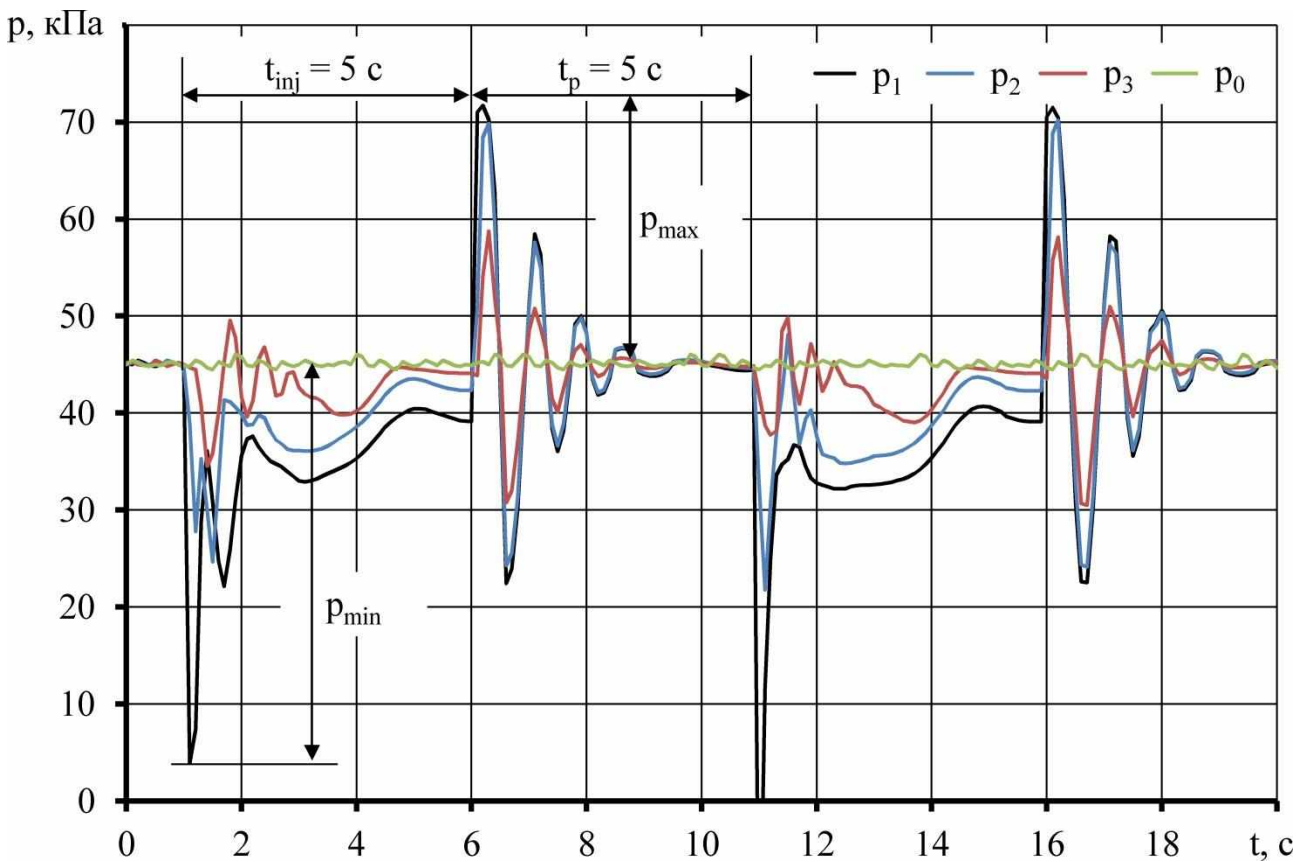


Рис. 3. Динаміка вакуумметричного тиску на підключених датчиків (p_0 , p_1 , p_2 , p_3)

Динаміка зміни опору на фотодатчику R_f має характер, який представлено на рисунку 4. Аналізуючи зазначений рисунок, видно, що зниження опору на фотодатчику R_f від початкового значення до стабілізованого R_{fe} характеризує ефективний процес промивання, який триває $t_e - t_s$. Після стабілізації значення опору на фотодатчику процес промивання є не

ефективним.

Відповідно до плану досліджень розглянемо отримані дані за кожним критерієм окремо.

В результаті експериментальних досліджень і подальшої обробки отриманих даних в програмному пакеті *Wolfram Mathematica* отримана залежність зміни ступеня чистоти θ_{milk} від факторів досліджень у закодованому вигляді:

$$\begin{aligned} \theta_{milk} = & 76,7653 - 6,70752 x_1 - 3,49731 x_1^2 - 1,88824 x_2 - 0,23882 x_1 x_2 - 1,28554 x_2^2 - 3,84884 x_3 + \\ & + 0,340515 x_1 x_3 + 2,07749 x_2 x_3 - 6,23266 x_3^2 + 11,2418 x_4 - 0,107728 x_1 x_4 + 0,0858108 x_2 x_4 + \\ & + 0,592603 x_3 x_4 + 1,10483 x_4^2. \end{aligned} \quad (10)$$

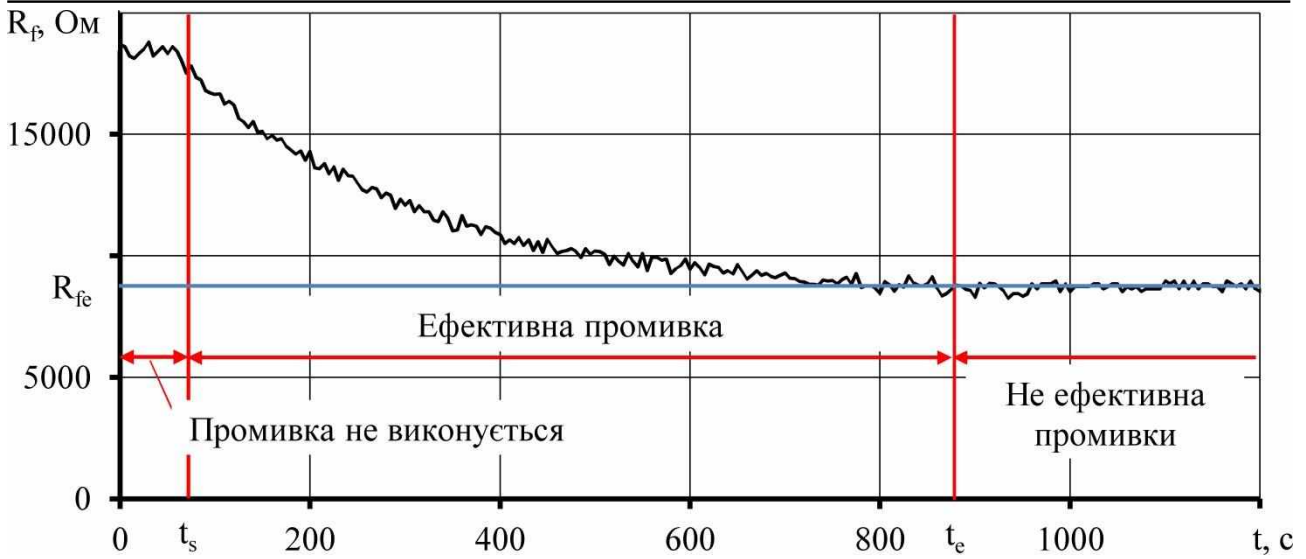


Рис. 4. Динаміка зміни опору на фотодатчику R_f

Статистична обробка рівняння (10) представлена в таблиці 2.

В результаті аналізу таблиці 2, відповідного скорочення незначущих коефіцієнтів за критерієм

Стьюдента $t_{0,05}(36)=2,02$ і розкодування рівняння (10) остаточно маємо залежність зміни значення ступеня чистоти θ_{milk} від факторів досліджень:

$$\theta_{milk} = 29,5872 + 1,42395 p_w - 0,0155436 p_w^2 + 0,0640533 Q_V - 0,0000718187 p_w Q_V + 0,000110483 Q_V^2 - 0,121902 t_{inj} - 0,00398034 p_w t_{inj} + 0,000214527 Q_V t_{inj} - 0,080346 t_{inj}^2 + 1,64717 t_p + 0,00567526 p_w t_p + 0,00148151 Q_V t_p + 0,129843 t_{inj} t_p - 0,389542 t_p^2. \quad (11)$$

Згідно з розрахованим критерієм Фішера для рівняння (11) $F=1,96 > F_{0,05}(8;36)=2,21$. Це свідчить, що між розрахованими за рівнянням (11) і експериментальними даними немає

істотних статистичних відмінностей і нульова гіпотеза про рівність вибірок розрахункових і експериментальних даних підтверджується, тобто математична модель (11) є адекватною.

Таблиця 2. Статистична обробка рівняння (10)

Коефіцієнт регресії	Значення коефіцієнта регресії	Стандартна похибка	t-statistic	P-Value
a ₀₀	76,7653	0,478921	160,288	$5,35434 \cdot 10^{-7}$
a ₁₀	-6,70752	0,405545	-16,5395	0,000481078
a ₂₀	-1,88824	0,288735	-6,53971	0,00726768
a ₃₀	-3,84884	0,226625	-16,9833	0,000444643
a ₄₀	11,2418	0,227416	49,4327	0,0000182301
a ₁₂	-0,23882	0,380664	-0,627378	0,574915
a ₁₃	0,340515	0,252094	1,35075	0,269627
a ₁₄	-0,107728	0,242665	-0,443938	0,687156
a ₂₃	2,07749	0,290825	7,14344	0,00564843
a ₂₄	0,0858108	0,24597	0,348867	0,750238
a ₃₄	0,592603	0,260907	2,27132	0,107794
a ₁₁	-3,49731	0,592834	-5,8993	0,00972467
a ₂₂	-1,28554	0,459157	-2,79977	0,0678657
a ₃₃	-6,23266	0,622532	-10,0118	0,00212106
a ₄₄	1,10483	0,380872	2,9008	0,0624616
a ₀₀	76,7653	0,478921	160,288	$5,35434 \cdot 10^{-7}$

Максимальне значення ступеня чистоти молокопроводу $\theta_{milk}=94,0\%$ досягається при $p_w=45,5$ кПа, $t_{inj}=1,1$ с, $t_p=3,2$ с, $Q_V=300$ л/хв.

Фіксуючи почергово фактори досліджень на зазначеному рівні, побудовано графічні інтерпретації залежності (4), які зображені на рис. 5.

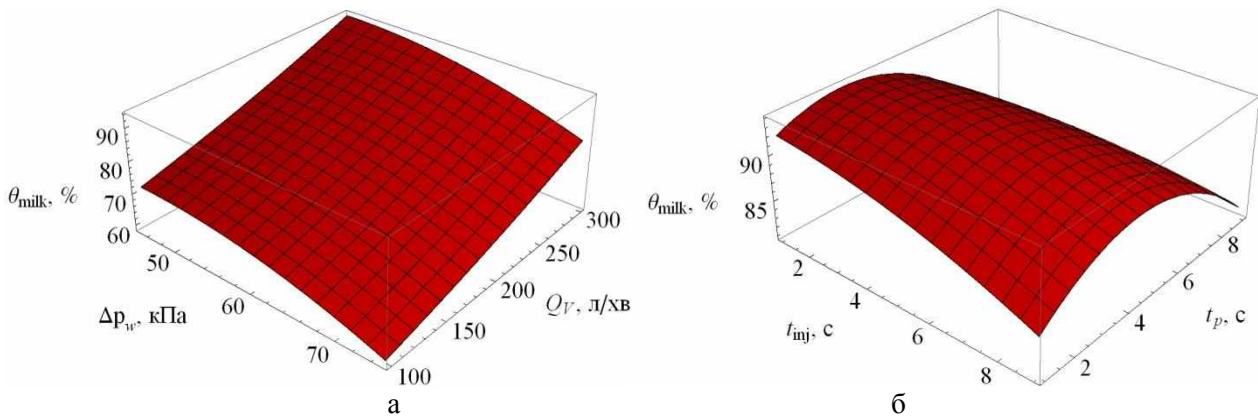


Рис. 5. Залежність значення ступеня чистоти молокопроводу θ_{milk} від факторів досліджень:
 а – робочий вакууметричний тиск p_w і об’ємні витрати повітря через повітряний інжектор Q_V ;
 б – тривалість такту вприскування повітряного інжектора t_{inj} і тривалість паузи повітряного інжектора t_p

Аналіз рисунку 5 і залежності (11) дає змогу стверджувати про варіативність режимів роботи інжектора. Так, із збільшенням робочого вакууметричного тиску p_w і об’ємних витрат повітря через повітряний інжектор Q_V , ступінь чистоти молокопроводу θ_{milk} збільшується. Зазначене спостереження є досить логічним, так як збільшується взаємодія ударної хвилі, що виникає внаслідок пульсацій вакууметричного тиску, із шаром молока на стінках молокопроводу. Для тривалості тактів вприскування t_{inj} і паузи t_p повітряного інжектора спостерігається оптимум за якого ступінь 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.

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

$$\frac{\Delta p}{\Delta t} = 34,494 + 3,65198x_1 - 2,6524x_1^2 - 12,1905x_2 - 3,02649x_1 x_2 + 12,738 x_2^2 - 8,07975 x_3 - 1,6205 x_1 x_3 + 12,9931 x_2 x_3 - 0,878323 x_3^2 + 14,5057 x_4 - 0,170093 x_1 x_4 + 0,144456 x_2 x_4 + 0,286004 x_3 x_4 + 0,370808 x_4^2. \quad (12)$$

Статистична обробка рівняння (12) представлена в таблиці 3. В результаті аналізу таблиці 3, відповідного скорочення незначущих коефіцієнтів за критерієм

Стьюдента $t_{0,05}(36) = 2,02$ і розкодування рівняння (12) остаточно маємо залежність швидкості зміни тиску від факторів досліджень:

$$\frac{\Delta p}{\Delta t} = -9,25598 + 2,04533 p_w - 0,0117884 p_w^2 + 0,145057 Q_V - 12,0428 t_{inj} - 0,0504414 p_w t_{inj} + 0,796128 t_{inj}^2 - 4,45978 t_p - 0,0270083 p_w t_p + 0,812068 t_{inj} t_p. \quad (13)$$

Згідно за розрахованим критерієм Фішера для рівняння (13) $F=1,08 > F_{0,05}(8;36)=2,21$. Це свідчить, що між розрахованими за рівнянням (13) і експериментальними даними немає

істотних статистичних відмінностей і нульова гіпотеза про рівність вибірок розрахункових і експериментальних даних підтверджується, тобто математична модель (13) є адекватною.

Таблиця 3. Статистична обробка рівняння (12)

Коефіцієнт регресії	Значення коефіцієнта регресії	Стандартна похибка	<i>t</i> -statistic	<i>P</i> -Value
a ₀₀	34,494	0,335887	102,695	2,0355·10 ⁻⁶
a ₁₀	3,65198	0,284426	12,8398	0,0010195
a ₂₀	-12,1905	0,202502	-60,1996	0,0000100985
a ₃₀	-8,07975	0,158942	-50,8347	0,0000167643
a ₄₀	14,5057	0,159496	90,9474	2,93029·10 ⁻⁶
a ₁₂	-3,02649	0,266975	-11,3362	0,00147243
a ₁₃	-1,6205	0,176804	-9,16549	0,00274598
a ₁₄	-0,170093	0,170191	-0,999427	0,391239
a ₂₃	12,9931	0,203968	63,7017	8,52378·10 ⁻⁶
a ₂₄	0,144456	0,172509	0,837382	0,463839
a ₃₄	0,286004	0,182985	1,56299	0,215996
a ₁₁	-2,6524	0,415779	-6,37935	0,00779828
a ₂₂	12,738	0,322026	39,5559	0,0000355498
a ₃₃	-0,878323	0,436608	-2,0117	0,137757
a ₄₄	0,370808	0,267121	1,38816	0,259212
a ₀₀	34,494	0,335887	102,695	2,0355·10 ⁻⁶

Мінімальне значення швидкості зміни тиску $\frac{\Delta p}{\Delta t} = 6,93 \text{ кПа/с}$ досягається при $p_w = 45 \text{ кПа}$, Δt
 $t_{inj} = 4,39 \text{ с}$, $t_p = 1,0 \text{ с}$, $Q_V = 100 \text{ л/хв}$. Фіксуючи

почергово фактори досліджень на зазначеному рівні, побудовані на рис. 6, графічні інтерпретації залежності (13).

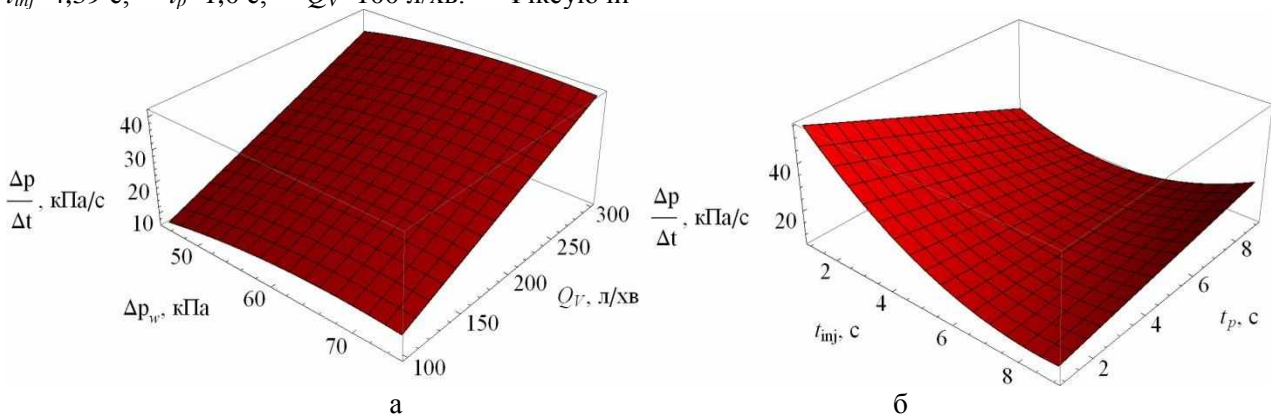


Рис. 6. Залежність значення швидкості зміни тиску $\frac{\Delta p}{\Delta t}$ від факторів досліджень:

- а** – робочий вакуумметричний тиск p_w і об'ємні витрати повітря через повітряний інжектор Q_V ;
б – тривалість такту впрыскування повітряного інжектора t_{inj} і тривалість паузи повітряного інжектора t_p

Із збільшенням робочого вакуумметричного тиску p_w , об'ємних витрат повітря через повітряний інжектор Q_V і тривалості паузи повітряного інжектора t_p швидкість зміни тиску збільшується. І навпаки із збільшенням тривалості такту впрыскування повітряного інжектора t_{inj} швидкість зміни тиску зменшується. Останнє пояснюється рисунком 3.

В зв'язку з тим, що раціональні параметри (11) і (13) відрізняються, то необхідно вирішити компромісну задачу, яка зводиться до мінімізації значення швидкості зміни тиску при найбільшому значенні ступеня чистоти молокопроводу:

$$\begin{cases} \theta_{milk}(p_w, t_{inj}, t_p, Q_V) \otimes \max, \\ \frac{\Delta p}{\Delta t}(p_w, t_{inj}, t_p, Q_V) \otimes \min. \end{cases} \quad (14)$$

Вирішуючи систему рівнянь (14) в програмному пакеті *Wolfram Mathematica* отримуємо раціональні параметри режимів роботи інжектора:

$$p_w=45,0 \text{ кПа}, t_{inj}=5,2 \text{ с}, t_p=4,2 \text{ с}, Q_v=295 \text{ л/хв.},$$

$$\theta_{milk}=92,1 \%, \frac{\Delta p}{\Delta t}=42,4 \text{ кПа/с.} \quad (15)$$

Висновки

В результаті експериментальних досліджень режимів роботи повітряного інжектора системи промивання молокопроводів доїльної установки було встановлено залежності швидкості зміни тиску $\Delta P/\Delta t$ і зміни значення ступеня чистоти молокопроводу θ_{milk} від робочого вакууметричного тиску p_w , об'ємних витрат повітря через повітряний інжектор Q_v , тривалості такту вприскування повітряного інжектора t_{inj} і тривалості паузи повітряного інжектора t_p .

Вирішуючи компромісне завдання, яке зводиться до мінімізації значення швидкості зміни тиску за найбільшого значення ступеня чистоти молокопроводу отримані відповідні раціональні параметри режимів роботи інжектора: $p_w=45,0$ кПа, $t_{inj}=5,2$ с, $t_p=4,2$ с, $Q_v=295$ л/хв., $\theta_{milk}=92,1$ %, $\Delta P/\Delta t=42,4$ кПа/с.

References

- Aliiev, E. B. (2011). Optymizatsiia tekhniko-tekhnologichnykh parametriv vakuumnoi systemy doilnoi ustanovky [Optimization of technical and technological parameters of the milking machine vacuum system]. *Zbirnyk naukovykh prats Tavriiskoho derzhavnogo ahrotekhnologichnoho universytetu*, 12 (1). 138–147. doi: 10.31388/2078-0877-19-3-14-21 [in Ukrainian].
- Aliiev, E. B. (2012). Doslidzhennia metrolohichnykh kharakterystyk komplektu ustatkuvannia kontroliu vakuumetrychnykh parametriv molochno-doilnoho obladnannia [Investigation of metrological characteristics of a set of equipment for monitoring the vacuum parameters of milking and milking equipment]. *Ahrarna nauka ta praktyka na suchasnomu etapi rozvytku: dosvid, problemy ta shliakhy yikh vyrishennia*, Mizhnarodna naukovo-praktychna konferentsiia (pp. 13–15). Lviv : Lvivska ahrarna fundatsiia [in Ukrainian].
- Babyn, I. A. (2019). Fyzyko-matematychnyi aparat rukhu dvofaznogo myiuchoho rozchynu po molokoprovodnii linii [Physico-mathematical apparatus for the movement of a two-phase detergent solution along a milk line]. *Tekhnika, enerhetyka, transport APK*, 1 (104), 5–12. doi: 10.37128/2520-6168-2019-1-1 [in Ukrainian].
- Coj, J. A. & Mamedova, R. A. (2005). The influence of parameters milk pipeline of milking installation on modes of motion an gas-liquid to mixtures. *Problemy intensyfikacii produkcji zwierzeczej z uwzględnieniem ochrony srodowiska i standardow UE*. (pp. 355–359). Warszawa.
- Kartashov, L. P., Ushakov Yu. A., Kolkpakov, A. V., Korolev, A. S., Panin, A. A. & Vasilevsky, G. P. (2010). Inzhenernyye metody obespecheniya kachestva moloka [Engineering methods to ensure the quality of milk]. *Mekhanizatsiia ta elektryfikatsiia silskoho hospodarstva*, 84, 26–29 [in Russian].
- Kyselov, O. V., Komarova, I. B., Milko, D. O. & Bakardzhyiev, R. O. (2017). Statystychna obrobka i oformlennia rezultativ eksperymentalnykh doslidzhen (iz dosvidu napysannia dysertatsiinykh robit) [Statistical processing and design of experimental research results (from the experience of writing dissertation papers)]. *Zaporizhzhia : STATUS* [in Ukrainian].
- Pryshliak, V. M. & Babyn, I. A. (2019). Rezultaty doslidzhen fotodatchyka vyznachennia zabrudnenosti molokoprovodnoi linii [Research results of the photodetector for determining the contamination of the mammalian line]. *Konstruiuvannia, vyrobnytstvo ta ekspluatatsiia silskohospodarskykh mashyn*, 49, 206–212. doi: 10.32515/2414-3820.2019.49.206-212 [in Ukrainian].
- Shevchenko, I. A. & Aliiev, E. B. (2013). Naukovo-metodychni rekomendatsii z bahatokryterialnogo vyrobnychoho kontroliu doilnykh ustanovok [Scientific and methodological recommendations for multicriteria production control of milki]. *Zaporizhzhia : Aktsent Invest-treid* [in Ukrainian].
- Tsoi, Y. A. & Mamedova, R. A. (2007). Parametry probkovogo rezhima techeniya zhidkosti v molokoprovode pri promyvke [Parameters of the cork mode of fluid flow in the milk duct during washing]. *Tekhnika v selskom khozyaystve*, 2, 3–4 [in Russian].
- Ushakov, Yu. A., Terekhov, O. N., Vasilevsky, G. P. & Danilova, N. G. (2014). Sokhraneniye kachestva moloka inzhenernymi metodami [Preservation of milk quality by engineering methods]. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK*, 5, 53–56 [in Russian].