

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ПОЛІСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

Факультет інженерії та енергетики
Кафедра агроінженерії та технічного сервісу

УДК 637.31

Кваліфікаційна робота на правах
рукопису

СИНИЦЬКИЙ Ігор Валентинович

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

**ПІДВИЩЕННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЙНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ
АВТОМАТИЗОВАНОЇ ДОЇЛЬНОЇ УСТАНОВКИ**

208 «Агроінженерія»

Подається на здобуття освітнього ступеня магістр

Кваліфікаційна робота містить результати власних досліджень.
Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на
відповідне джерело

(підпис)

(ініціали та прізвище здобувача вищої освіти)

Керівник роботи
к.т.н., доц. Медведський О.В.

Житомир – 2023

АНОТАЦІЯ

Синицький І. В. **Підвищення експлуатаційної ефективності автоматизованої доїльної установки.** – Кваліфікаційна робота на правах рукопису.

Кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня магістр зі спеціальності 208 – агроінженерія. – Поліський національний університет, Житомир, 2023 р.

Кваліфікаційна робота покликана вирішити важливе науково-технічне завдання підвищення ефективності експлуатації автоматизованої доїльної установки. Проведена оцінка систем промивки серійних доїльних установок вказала на необхідність покращення режимів їх роботи.

Встановлені аналітичні залежності, які дають можливість визначити допустиму швидкість руху миючої рідини для видалення стійких забруднень, та залежність встановлення режимів функціонування запропонованого пневматичного ежектора.

Отримані у результаті досліджень дані дозволили встановити рівняння регресії, яке пов'язує інтенсивності переміни рівня тиску у молокопроводі з рівнем вакуумметричного тиску, часом робочого періоду та часом періоду зупинки роботи пневматичного ежектора, діаметром молокопроводу.

Ключові слова: якість молока, потік повітря, вакуумметричний тиск, миюча рідина, система промивки

ANNOTATION

Synyt'skyi I. V. **Increasing the operational effectiveness of an automatic milking plant.** – Qualification work on manuscript rights.

Qualification work for a master's degree in specialty 208 – agroengineering. – Polissia National University, Zhytomyr, 2023.

The qualification work is designed to solve the important scientific and technical task of increasing the efficiency of operation of the automated milking plant. The evaluation of the washing systems of serial milking units indicated the need to improve their operation modes.

Analytical dependencies have been established, which make it possible to determine the permissible speed of movement of the washing liquid for removing persistent contaminants, and the dependence of establishing the operating modes of the proposed pneumatic ejector.

The data obtained as a result of the research made it possible to establish a regression equation that relates the intensity of changes in the pressure level in the milk duct with the level of vacuum pressure, the time of the working period and the time of the stoppage of the pneumatic ejector, the diameter of the milk duct.

Key words: milk quality, air flow, vacuum pressure, washing liquid, flushing system

ЗМІСТ

ВСТУП	4
РОЗДІЛ 1. ОЦІНКА АВТОМАТИЗОВАНИХ ДОЇЛЬНИХ УСТАНОВОК	7
1.1. Аналіз особливостей систем промивки технологічних ліній доїльної установки	7
1.2. Оцінка технічних рішень покращення експлуатаційної ефективності доїльних установок	10
1.3. Висновки до розділу 1	14
РОЗДІЛ 2. ТЕОРЕТИЧНІ ПЕРЕДУМОВИ ВСТАНОВЛЕННЯ РЕЖИМНИХ ХАРАКТЕРИСТИК СИСТЕМИ ОЧИСТКИ МОЛОКОПРОВОДУ	15
2.1. Встановлення режимів функціонування запропонованої системи промивки молокопровідної системи	15
2.2. Визначення технологічних параметрів пневмо-жиклерного пристосування	17
2.3. Висновки до розділу 2	20
РОЗДІЛ 3. ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ПНЕМО-ЖИКЛЕРА СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ПРОМИВКОЮ	21
3.1. Встановлення параметрів режимів керування системою промивки у молокопроводі	21
3.2. Встановлення робочих параметрів пневмо-жиклерного пристосування	23
3.3. Висновки до розділу 3	27
ВИСНОВКИ	28
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	30

ВСТУП

Актуальність теми. Використання доїльних установок у системі виробництва молока потребує проведення щоденного та періодичних обслуговуючих дій. Від якості проведення експлуатаційних заходів залежить не тільки ресурс роботи технологічного обладнання доїльної установки, а також й якість отриманого молока. В першу чергу це стосується безпосередньо доїльних апаратів та системи транспортування видоєного молока до засобів очищення, охолодження та тимчасового зберігання. [1-2]

Технічний стан та якість очищення після кожного циклу доїння системи транспортування молока доїльної установки залежить не тільки його чистота, а й збереженість технологічних показників якості. Останні відіграють важливу роль в отриманні якісних продуктів переробки молока. Тому, санітарно-гігієнічний стан молокопроводних систем доїльних установок повинен відповідати встановленим вимогам, а доїльні апарати повинні забезпечувати дотримання зоотехнічних та зооветеринарних вимог відомих стандартів машинного доїння корів. [3]

Автоматизовані доїльні установки обладнані системами промивки технологічних ліній таких як доїння, обліку видоєного молока, первинного очищення, охолодження та тимчасового зберігання. Промивка доїльних апаратів та молокопроводів відбувається у спільному технологічному процесі завдяки циркуляції у трубопроводах миючих засобів. Керує роботою промивки програмована система керування. Залежно від виробника кожна система керування промивкою молокопровода та технологічного обладнання має свої особливості виконання та задовільно виконує покладені функції. Але сучасні вимоги до якості молочних продуктів вимагає від виробників не тільки чистого механічно, але і чистого від мікробів та бактерій незбираного молока. Хоча сучасні доїльні установки обладнано системами автоматичної промивки технологічних ліній, у деяких наукових роботах відзначається необхідність інтенсифікації процесу промивки особливо стійких забруднень із значними зчіпними властивостями. При цьому вказується на можливі шляхи реалізації

покращення процесу. В першу чергу відзначається необхідність покращити режими руху миючої рідини. Вказується, також, і на можливість використання потоку миючого розчину у вигляді гідравлічної пробки при змінному пришвидшенні та сповільненні. З цією метою необхідно встановити та обґрунтувати новий алгоритм функціонування системи промивки із внесенням коректив до існуючих систем. [4-6]

Тому, покращення заходів експлуатації для отримання чистого молока під час машинного доїння корів на сучасних доїльних установках є важливим науково-технічним завданням.

Мета і задачі досліджень. Мета дослідження полягає у підвищенні ефективності доїльної установки завдяки інтенсифікації процесу промивки молокопроводу шляхом обґрунтування параметрів пневмо-жиклерного пристрою

Для досягнення мети необхідно вирішити такі задачі:

- виконати оцінку технологічних схем та технічних засобів промивки доїльних установок;
- розробити пневмо-жиклерний пристрій інтенсифікації процесу промивки технологічних ліній доїльної установки;
- встановити режимні та технологічні параметри пневмо-жиклерного пристрою системи промивки;
- визначити раціональні параметри функціонування розробленого пневмо-жиклерного пристрою;
- встановити експлуатаційну ефективність використання розробленого пристрою інтенсифікації процесу промивки технологічних ліній.

Об'єкт дослідження – процес очистки технологічних ліній доїльної установки.

Предмет дослідження – пневмо-жиклерний пристрій, його параметри та режими функціонування.

Методи досліджень. Теоретичні дослідження виконувались за допомогою відомих теоретичних положень диференціального числення, методами з математичний аналіз, методи чисельного моделювання, що дозволили встановити аналітичні та графічні залежності при цьому широко використовувались відомі закони гідравліки, теплотехніки, термодинаміки, пневматики та гідродинаміки.

Отримані дослідним чином дані проходили обробку при використанні програмних середовищ Microsoft Excel та інших програм.

Апробація результатів роботи. Отримані у кваліфікаційній роботі результати досліджень доповідались та отримали схвалення на наукових конференціях, подані у наступних роботах:

1. Синицький І. В. Аналіз систем промивки технологічних ліній доїльної установки. *Студентські читання–2023* : матеріали науково-практичної конференції. 25 жовтня 2023 р. Житомир: Поліський національний університет, 2023. С. 204–206.

2. Медведський О. В., Синицький І. В. Технічні рішення систем промивки доїльних установок. *Інженерні процеси та системи* : матеріали I Міжнародної науково-практичної конференції здобувачів вищої освіти та молодих вчених. 14-15 червня 2023 р. Житомир: Поліський національний університет, 2023. С. 116–118.

3. Медведський О. В., Синицький І. В. Параметри функціонування системи промивки молокопровідної системи доїльної установки. *Біоенергетичні системи* : матеріали VII Міжнародної науково-практичної конференції. 15-17 листопада 2023 р. Житомир: Поліський національний університет, 2023. С. 108–110.

Структура та обсяг роботи. Кваліфікаційна робота у своєму складі має вступ, три розділи, загальні висновки, список використаних літературних джерел із 20-ти найменувань. Текстова частина кваліфікаційної роботи викладена державною мовою друкованого тексту на 31-й сторінці формату А-4, проілюстрована рисунками та графіками у загальній кількості 17 шт.

РОЗДІЛ 1

ОЦІНКА АВТОМАТИЗОВАНИХ ДОЇЛЬНИХ УСТАНОВОК

1.1. Аналіз особливостей систем промивки технологічних ліній доїльної установки

Відомо що від стану чистоти та експлуатаційної ефективності технологічних ліній доїльних установок залежить не тільки якість отриманого молока, а й здоров'я тварин. [3, 7-11]

Під час виконання технологічного процесу машинного доїння корів молоко, виведене із вимені корови за допомогою доїльного апарата, контактує із поверхнями технологічних ліній доїльних установок. Кожен тип доїльної установки відзначається протяжністю технологічних ліній, відповідно і змінюється площа дотику свіжовидоєного молока (рис. 1.1). [12-15]

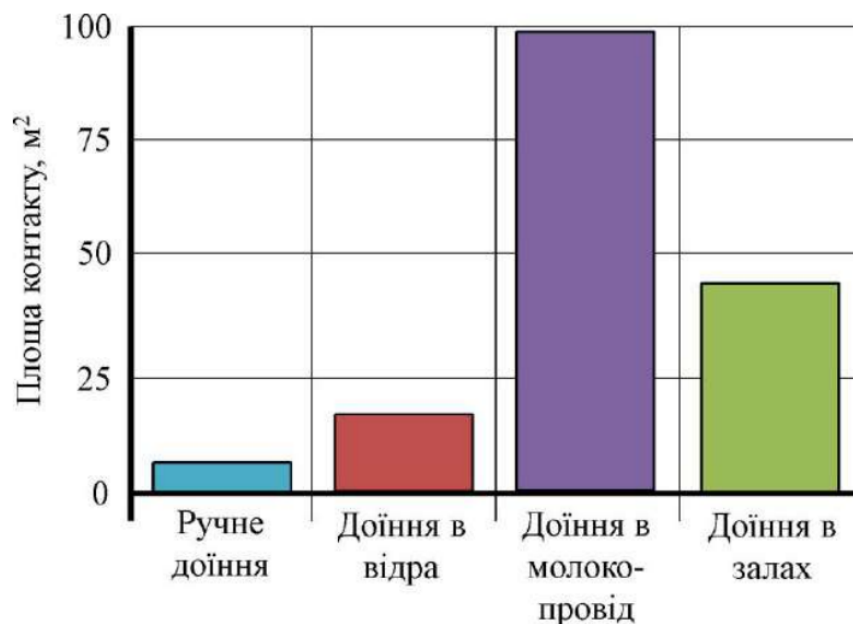


Рис. 1.1. Площа дотику молока до поверхонь технологічних ліній залежно від способу доїння

Відповідно до рис. 1.1, найменшою є площа дотику із технологічним обладнанням при ручному доїнні. Вченими вказується, що молоко яке виходить

відразу із вимені корів має максимальну чистоту від мікробів та бактерій. Це не стосується перших цівок молока перед початком доїння, які не надходять до загальної місткості для молока. Забруднення відбувається в процесі контакту із поверхнями технологічних ліній доїльних установок. [3, 7, 11]

Найбільшу протяжність мають технологічні лінії доїльної установки типу «молокопровід». Логічно, що зі збільшенням поверхні взаємодії молока із елементами доїльної установки зростає його забрудненість. Окрім цього, кожен елемент доїльної установки залежно від правильності експлуатації має свій внесок у ступінь забруднення молока після виходу його із вимені корови (рис. 1.2). [9-11]

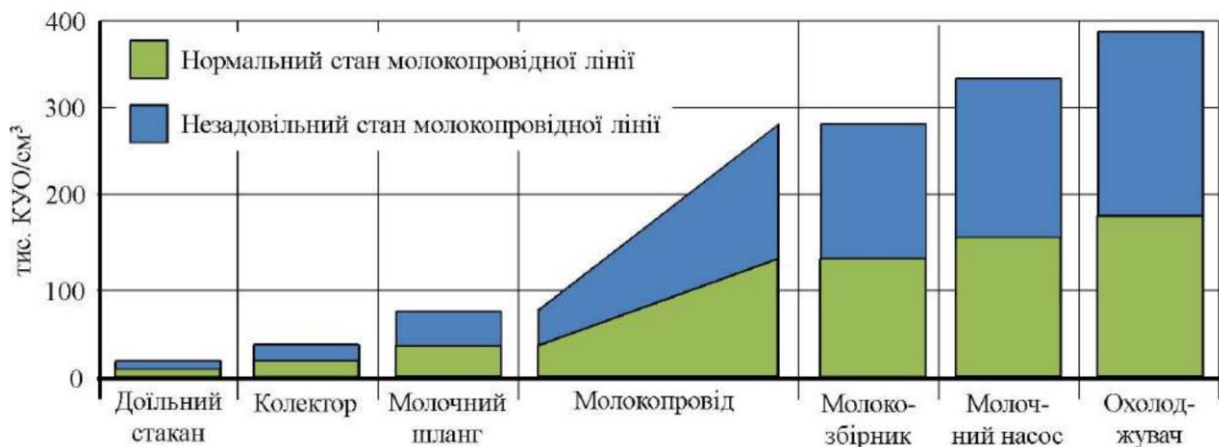


Рис. 1.2. Рівень забруднення молока бактеріями у структурних елементах доїльної установки

Відповідно до рис. 1.2, рівень забрудненості свіжовидоєного молока бактеріями зростає в процесі руху молока від доїльного апарата до місця тимчасового зберігання. Різке збільшення забрудненості спостерігається у молокопроводі доїльної установки. В подальшому ступінь бактеріального забруднення зменшується. Можна зробити висновок, що основний вклад у забруднення молока вносить молокопровід доїльної установки. Зрозуміло, що чим довший молокопровід тим триваліший час молоко буде контактувати із його стінками і тим більше буде забруднюватись.

Вплинути на конструкцію доїльної установки не можливо. Тому основним способом зниження ступені забруднення молока є якісна очистка поверхні молокопроводу. З цією метою у доїльних установках використовують системи промивки, класифікаційні ознаки яких представлено на рис. 1.3. [10]

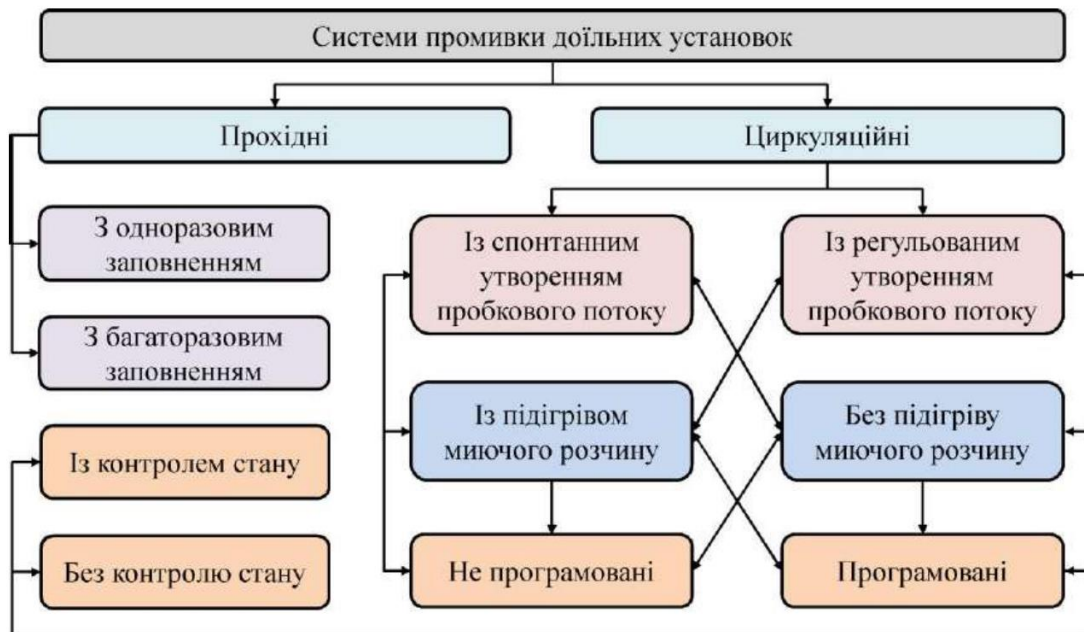


Рис. 1.3. Оцінка характерних рис систем промивки доїльної установки

Найбільш широко використовується циркуляційний спосіб реалізації технологічного процесу промивки внутрішньої порожнини технологічних ліній в цілому і молокопроводу доїльної установки зокрема. Це пояснюється можливістю керування технологічним процесом, особливо при формуванні потоку миючого засобу у вигляді пробки. Важливим є використання теплового розчину, тому обладнання яке забезпечує підігрів робить таку систему більш функціональною, поряд із системою де використовується технологія разового приготування – для доїльних систем типу «доїльне відро».

Перевагою систем із циркуляцією миючого розчину є знижені витрати води та можливість керувати процесом переміщення рідини у молокопроводі.

1.2. Оцінка технічних рішень покращення експлуатаційної ефективності доїльних установок

Доїльна установка представляє собою складну технічну систему де задіяний цілий ряд технологічних ліній взаємне функціонування яких забезпечує реалізацію процесу машинного доїння корів без шкоди для їх здоров'я та погіршення якості молока (рис. 1.4-1.5). [4, 13-17]

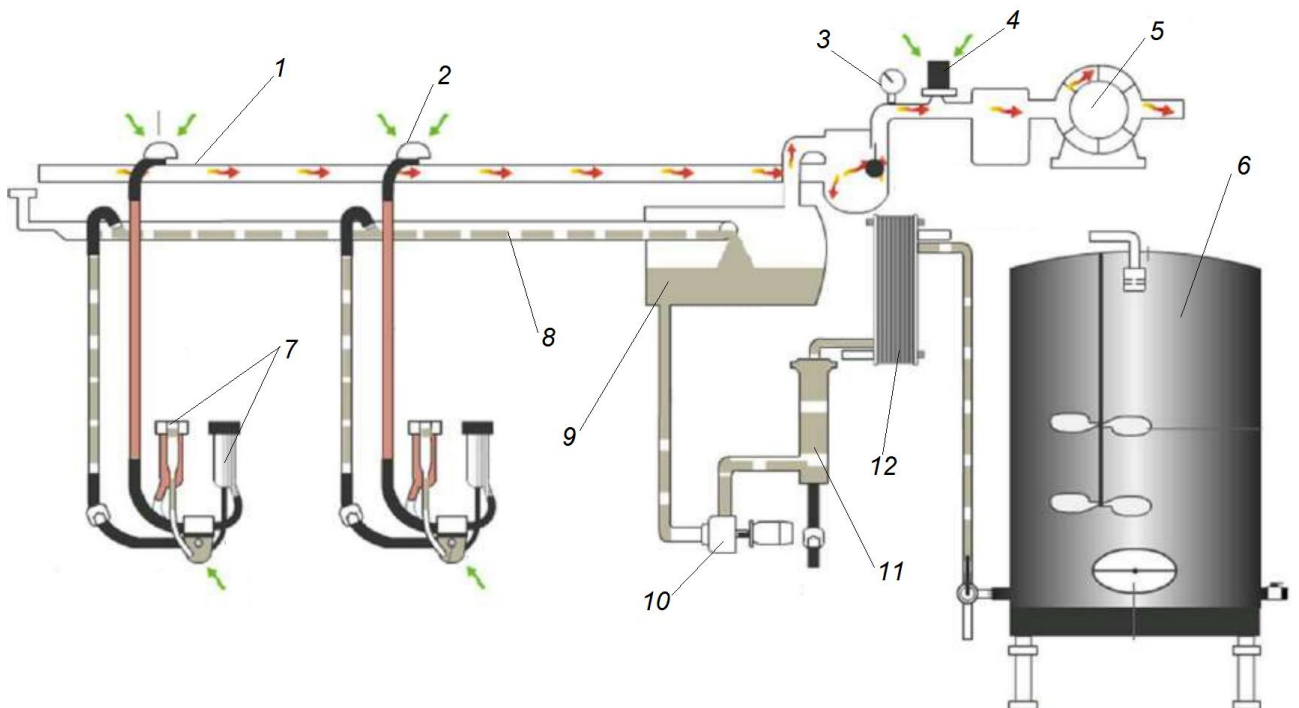


Рис. 1.4. Схема функціонування доїльної установки: 1 – вакуум-провід; 2 – пульсатор; 3 – вакуумметр; 4 – регулятор вакууму; 5 – насос вакуумний; 6 – місткість для накопичення молока; 7 – підвісна частина доїльного апарата; 8 – молокопровід; 9 – молокозбірник; 10 – насос молочний; 11 – фільтр молока; 12 – охолодник молока.

Принцип функціонування технологічних ліній доїльної установки (рис. 1.4) вказує на те, що система молокопровідна не є герметичною оскільки через колектор відбувається постійне підсмоктування повітря під час машинного доїння корів. Це сприяє покращенню процесу транспортування молока до

молокопроводу за рахунок створення різниці тисків всередині колектора та зовнішнього атмосферного тиску. Надходження повітря до вакуум-проводу відбувається через пульсатор доїльного апарата. Компенсує тимчасові втрати тиску вакуумний насос разом із роботою регулятора вакууму.

Під час промивки молокопроводу необхідно, також забезпечити надходження повітря для створення перепаду тиску і стимулювати рух миючого розчину (рис. 1.5).

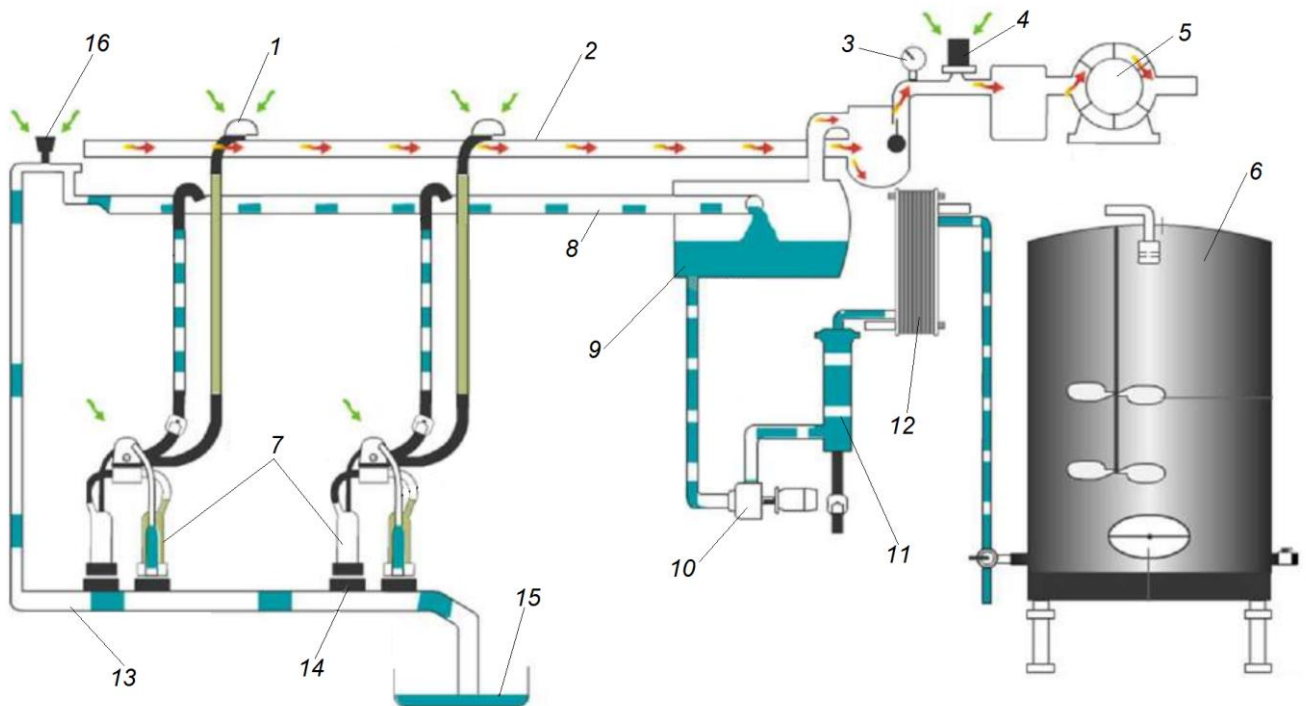


Рис. 1.5. Схема функціонування промивки доїльної установки: 1 – вакуум-провід; 2 – пульсатор; 3 – вакуумметр; 4 – регулятор вакууму; 5 – насос вакуумний; 6 – місткість для накопичення молока; 7 – підвісна частина доїльного апарата; 8 – молокопровід; 9 – молокозбірник; 10 – насос молочний; 11 – фільтр молока; 12 – охолодник молока; 13 – трубопровід системи; 14 – приєднувач доїльних стаканів; 15 – місткість миючого розчину; 16 – пневможиклер.

Класична система у своїй конструкції має пневмо-ежектор (рис. 1.5), через який під час роботи надходить повітря до молокопроводу доїльної установки, створюючи додатковий перепад тиску для інтенсифікації руху миючого розчину. Проте некерованість такого пристрою не забезпечує якісних режимів руху для видалення із внутрішніх поверхонь молокопроводу та доїльного апарата бруду.

Тому, вченими пропонуються технічні рішення для покращення роботи системи промивки обладнання. Запропонований пристрій [11] із можливістю впуску додаткових порцій повітря до молокопроводу під час промивки (рис. 1.6).

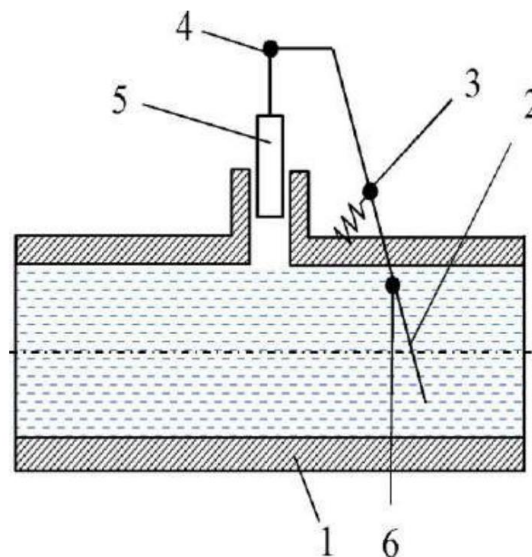


Рис. 1.6. Керована система впуску повітря до молокопроводу: 1 – молокопровід; 2 – пластина; 3 – важіль; 4 – шток; 5 – клапан регулювальний; 6 – шарнірне з'єднання

Пружина (рис. 1.6) утримує клапан регулювальний 4 у наперед визначеному положенні. Як тільки інтенсивність потоку зростає, через систему важелів пластина 2 зрушить регулювальний клапан донизу. При цьому буде забезпечена стабілізація потоку миючого розчину. Недоліком такого рішення можна вважати неможливість адекватного керування процесом, оскільки

наявність пластини в потоці призводить до додаткових шкідливих турбулентностей.

З метою злагодження роботи системи промивки у структурі доїльної установки використовують автоматизовано-програмовану систему циркуляційного промивання (рис. 1.7).

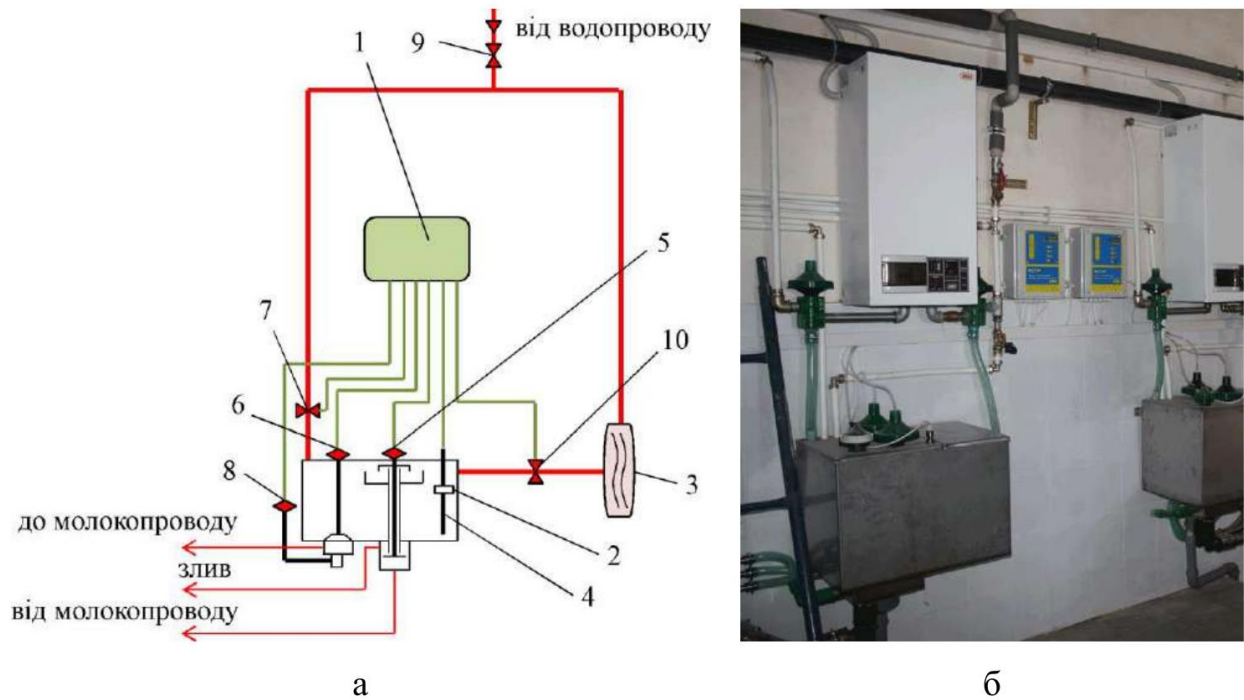


Рис. 1.7. Автоматична система промивки молокопроводу ТДВ Брацлав (Україна): а – функціональна схема; б – вигляд зовні; 1 – пульт для керування; 2 – рухомий поплавковий рівень; 3 – нагрівач для води; 4 – давач для рівня миючого розчину; 5 – клапан керування циркуляцією та зливанням; 6 – клапан подачі миючого розчину до молокопроводу; 7 – кран автоматичний для холодної води; 8 – повітряний клапан; 9 – кран вхідний; 10 – кран автоматичний для нагрітої води. [18]

Аналогічні системи промивки використовують у доїльній установці виробники доїльного обладнання. Проте, таке обладнання має деякі недоліки. Насамперед мова йде про нераціональне використання води та миючого засобу, оскільки використовується тривалий процес очищення із-за неодноразового

проходження миючого розчину. Окрім цього, не передбачено систем контролю рівня вакуумметричного тиску та результатів очищення.

Дослідниками [7, 10] вказується про позитивні результати роботи автоматичних систем промивки технологічних ліній доїльної установки наявних на ринку виробників доїльного обладнання. Але майже однотайно наголошується на необхідності забезпечити потік миючого розчину у вигляді періодичної гідравлічної пробки. Тому, удосконалення та покращення режимів промивки автоматичних систем для підвищення чистоти очищення молокопроводу та доїльного обладнання є завданням кваліфікаційної роботи.

1.3. Висновки до розділу 1

1. Забруднення молока відбувається в процесі контакту із поверхнями технологічних ліній доїльних установок. Встановлено, що зі збільшенням поверхні взаємодії молока із елементами доїльної установки зростає його забрудненість. Кожен елемент доїльної установки залежно від правильності експлуатації має свій внесок у ступінь забруднення молока після виходу його із вимені корови. Різке збільшення забрудненості спостерігається у молокопроводі доїльної установки. Основним способом зниження ступені забруднення молока є якісна очистка поверхні молокопроводу. З цією метою у доїльних установках використовують системи промивки.

2. Дослідниками вказується про позитивні результати роботи автоматичних систем промивки технологічних ліній доїльної установки наявних на ринку виробників доїльного обладнання. Але майже однотайно наголошується на необхідності забезпечити потік миючого розчину у вигляді періодичної гідравлічної пробки. У зв'язку із цим важливим є удосконалення та покращення режимів автоматичних систем промивки молокопроводу та доїльного обладнання.

РОЗДІЛ 2

ТЕОРЕТИЧНІ ПЕРЕДУМОВИ ВСТАНОВЛЕННЯ РЕЖИМНИХ ХАРАКТЕРИСТИК СИСТЕМИ ОЧИСТКИ МОЛОКОПРОВОДУ

2.1. Встановлення режимів функціонування запропонованої системи промивки молокопровідної системи

Основною метою покращення процесу очищення внутрішньої поверхні молокопроводу є ефективне відокремлення бруду під час руху миючої рідини. Зобразимо забруднення у вигляді часточки яка зчепилась із внутрішньою поверхнею молокопроводу (рис. 2.1)

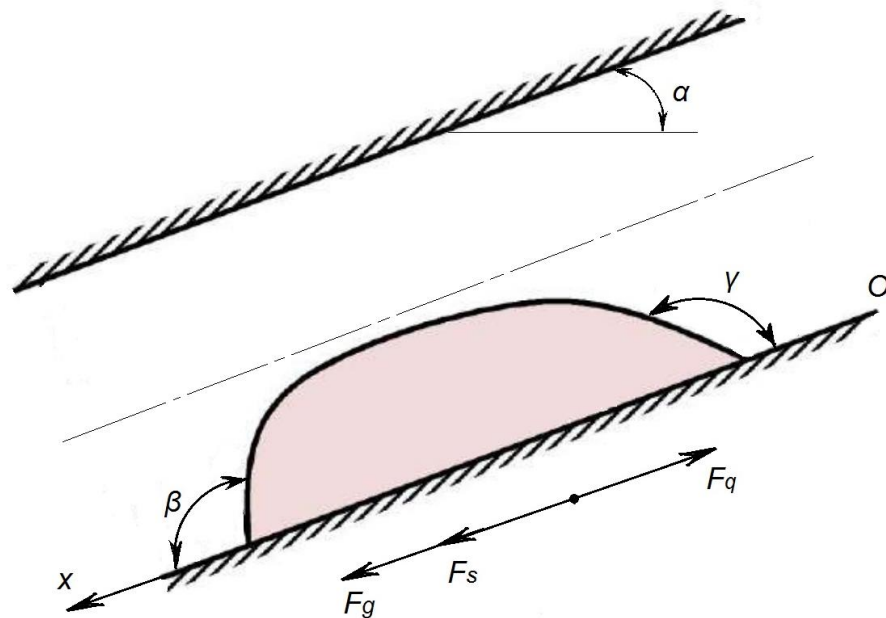


Рис. 2.1. Схема елемента забруднення на стінці молокопроводу та прикладені сили

На елемент забруднення мають впливати сили які спрямовані вздовж молокопроводу але в протилежних напрямках. Рух забруднення буде відбуватись у випадку виконання умови [19-20]:

$$F_g + F_s > F_q, \quad (2.1)$$

де F_g – сила ваги часточки, Н;

F_s – сила дії миючої рідини, Н;

F_q – сила зчеплення із поверхнею, Н.

Відповідно до рекомендацій [19] з врахуванням рівняння (2.1), встановили аналітичну та графічну залежність визначення швидкості руху миючої рідини у трубопроводі (рис. 2.2):

$$v_r \geq \left[\frac{(\pi - c_r) \sigma_r (\cos \gamma - \cos \beta)}{c_{rr} \pi \sqrt{d_p} \rho_r \mu_r} \right]^{\frac{2}{3}}, \quad (2.2)$$

де c_r – коефіцієнт який враховує зчеплення часточки із поверхнею, $c_r=1,2-1,5$; [19]

c_{rr} – коефіцієнт який враховує протистояння силам тертя, $c_{rr}=1,5-1,8$; [19]

μ_r – в'язкість динамічна миючої рідини, Па×с;

σ_r – зусилля поверхневого натягу між часточкою бруду та миючою рідиною, Н/м;

ρ_r – об'ємна маса миючої рідини, кг/м³;

d_r – внутрішній діаметр молокопроводу, м;

β, γ – кути дотичні до часточки бруду, град.

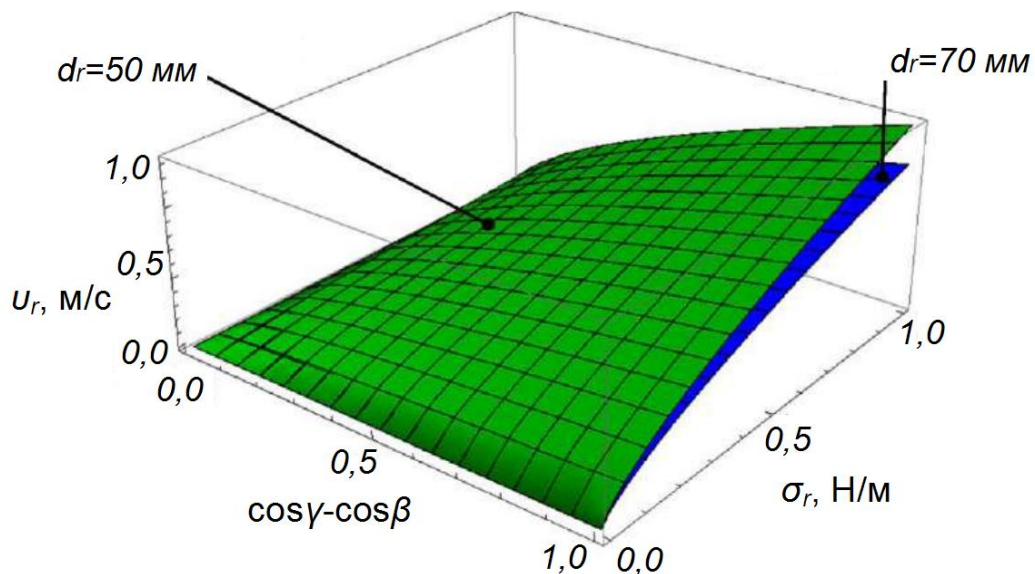


Рис. 2.2. Залежність швидкості миючої рідини (v_r) у трубопроводі від геометричних (β, γ) та фізичних (σ_r) параметрів часточки забруднення

Аналіз графічних залежностей (рис. 2.2) вказує на необхідність збільшувати швидкість миючої рідини зі збільшенням зусилля поверхневого натягу між часточкою бруду та миючою рідиною. При цьому між внутрішнім розміром трубопроводу у 50 та 70 мм не має суттєвої різниці, хоча за однакових умов у трубопроводі меншого діаметра швидкість рідини незначно вища. Зі збільшенням зчіпних властивостей часточки бруду її геометричні параметри, зокрема дотичні кути, не мають суттєвого впливу на швидкість руху миючої рідини.

В подальшому доцільно дослідити вплив технологічних параметрів молокопроводної системи на бажані характеристики потоку миючої рідини.

2.2. Визначення технологічних параметрів пневмо-жиклерного пристосування

Пропонується за допомогою повітряного жиклера впускати до молокопроводу порції повітря. Причому впуск повітря має відбуватись періодично, тобто, має бути робочий період та період зупинки. За рахунок такого режиму роботи можна отримати потрібне нам прискорення потоку миючої рідини що забезпечить інтенсивніше видалення забруднень. Періодична зупинка впуску повітря дозволяє відновити рівень вакуумметричного тиску у молокопроводі, при цьому спостерігається зміна режиму руху миючої рідини на турбулентний без збурень. Збурюючий рух рідини миючої залежить від співвідношення зміни рівня тиску у молокопроводі та інтервалу часу спрацювання ежектора:

$$\frac{p_t}{t_p} = \frac{p_1 - p_2}{t_r + t_s}, \quad (2.3)$$

де p_t – змінний параметр тиску, кПа;

t_p – період часу переміни тиску p_t , с;

p_1 – величина максимального значення тиску, кПа;

p_2 – величина мінімального значення тиску, кПа;

t_r – час робочого періоду ежектора, с;

t_s – час періоду зупинки роботи ежектора, с.

Співвідношення p_i/t_p має бути як найбільшим. Це пояснюється необхідністю усуненням можливого виникнення небажаного ефекту – гідроудару. Таке явище може виникати при різких змінах швидкості руху миючої рідини під час відкривання-закривання пневмо-ежектора.

Тому, важливо визначити раціональні параметри функціонування пневмо-ежектора. З цією метою змодельємо режимні характеристики пневмо-ежектора за допомогою використання числового принципу моделювання. Одержані таким чином дані дозволили отримати залежність, яка встановлює взаємозв'язок між розглянутими параметрами (2.3) та геометричними характеристиками трубопроводу для молока (рис. 2.3-2.5):

$$\begin{aligned} \frac{P_t}{t_p} = & 34,63 - 0,23d_r + 1,76p - 15,38t_r - 0,074pt_r + 1,01t_r^2 - 3,38t_s - \\ & - 0,044pt_s + 0,93t_r t_s - 0,088t_s^2, \end{aligned} \quad (2.4)$$

де p – вакуумметричний тиск у молокопроводі, кПа

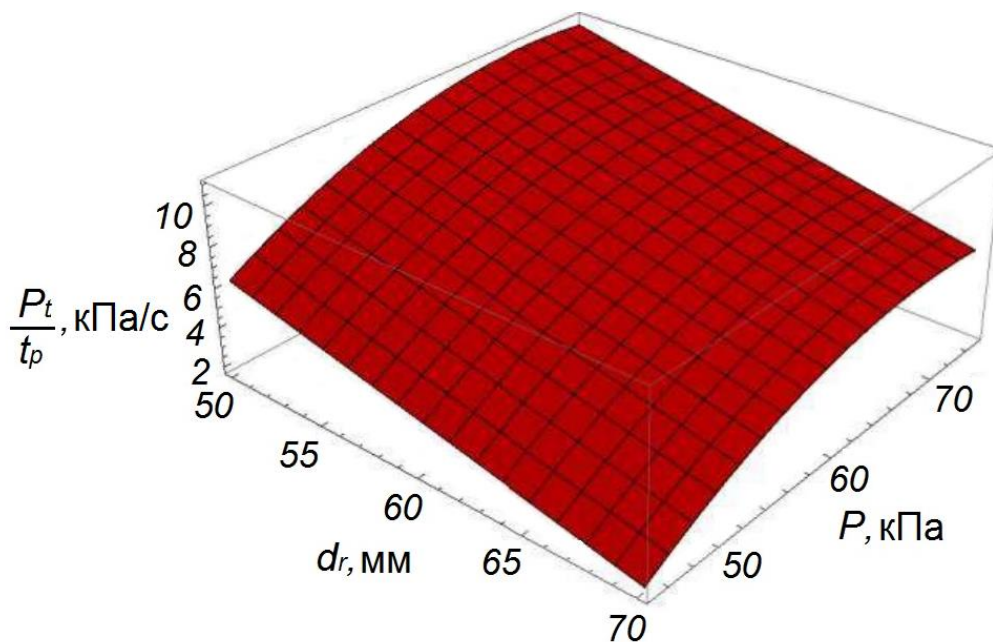


Рис. 2.3. Залежність інтенсивності переміни рівня тиску (p_i/t_p) від рівня вакууму (p) та внутрішнього діаметра у молокопроводі (d_r).

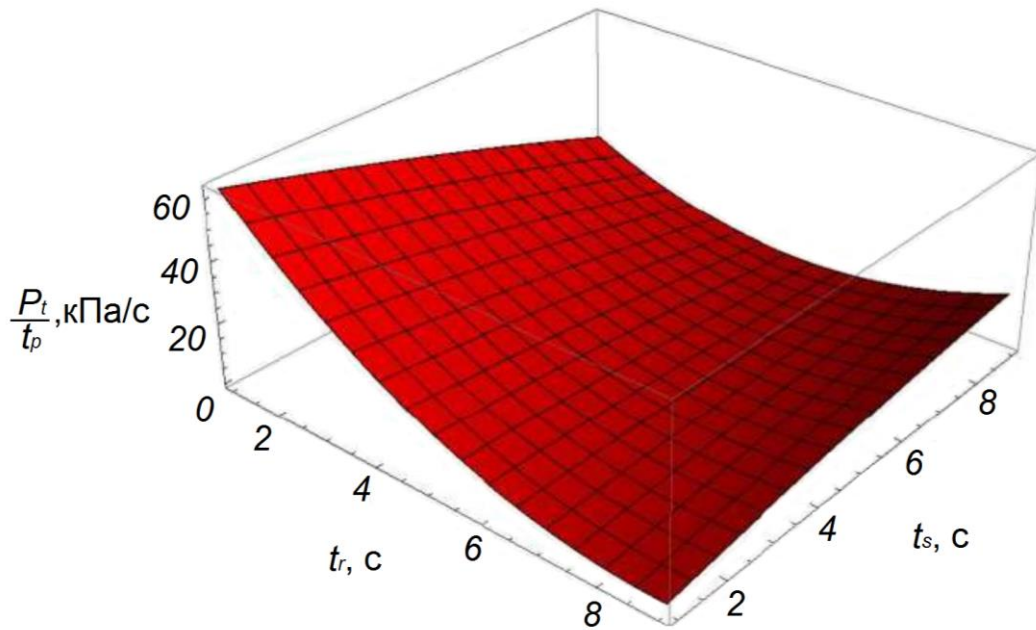


Рис. 2.4. Залежність інтенсивності переміни рівня тиску (p_t/t_p) від часу робочого періоду (t_r) та часу періоду зупинки роботи (t_s) ежектора.

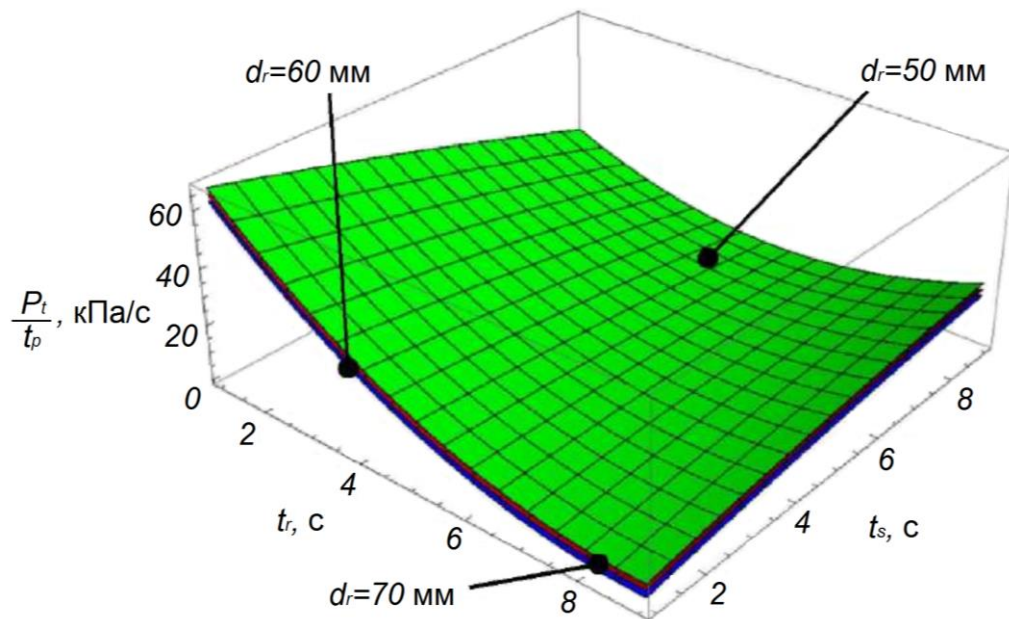


Рис. 2.5. Поверхня відгуку яка встановлює взаємозв'язок інтенсивності переміни рівня тиску (p_t/t_p) від часу робочого періоду (t_r) та часу періоду зупинки роботи (t_s) ежектора при заданому діаметрі молокопроводу (d_r).

Відповідно до рис. 2.3, зі збільшенням внутрішнього діаметра молокопроводу має зменшуватись співвідношення (p_t/t_p) яке відповідає за швидкість спрацювання пневмо-ежектора. При цьому, вищому вакууму у

молокопроводі відповідає більша тривалість періоду зміни тиску з мінімального до максимального.

Збільшення тривалості робочого періоду (t_r) викликає пришвидшення інтенсивності переміни тиску (p_t/t_p) у молокопроводі доїльної установки (див. рис. 2.4) не залежно від його діаметра. Причому більшому діаметру відповідає менше значення співвідношення p_t/t_p . При максимальній величині відкриття ежектора ($t_r=8$ с) та максимальному періоді часу закритого положення ежектора ($t_s=8$ с) спостерігається незначне збільшення періоду часу зміни тиску (p_t/t_p) у молокопроводі доїльної установки. Але для мінімальних значень часу протягом якого ежектор відкритий та впускає повітря (t_r) спостерігається протилежна закономірність до деякого значення, яке можна вважати екстремумом.

Графічна залежність на рис. 2.5 вказує на незначний вплив внутрішнього діаметра молокопровода на характер інтенсивності відновлення тиску. Більш переважним можна вважати значення параметрів за яких найшвидше відбувається зміна режимів роботи. Так, за умови $t_r=3,5$ с, $t_s=2,2$ с та рівні вакуумметричного тиску $p=70$ кПа інтенсивність спрацювання ежектора має найкраще значення – $p_t/t_p=42,5$ кПа/с при діаметрі молокопроводу $d_r=70$ мм.

2.3. Висновки до розділу 2

1. Виконана оцінка впливу сил які утримують частинку бруду на поверхні молокопровода. Встановлена залежність для визначення допустимої швидкості руху миючої рідини.

2. Отримана аналітична залежність яка встановлює взаємозв'язок між режимами функціонування пневмо-ежектора, інтенсивністю переміни рівня вакуумметричного тиску та геометричними параметрами внутрішнього діаметра молокопровода.

РОЗДІЛ 3

ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ПНЕМО-ЖИКЛЕРА СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ПРОМИВКОЮ

3.1. Встановлення параметрів режимів керування системою промивки у молокопроводі

Визначення режимних характеристик керуючої системи промивки технологічних ліній доїльної установки проводилось із використанням діючого макету обладнання, яке імітує доїння у молокопроводі доїльної установки для доїння у стійлах та доїльної установки типу «ялинка» для доїння у доїльних залах (рис. 3.1).

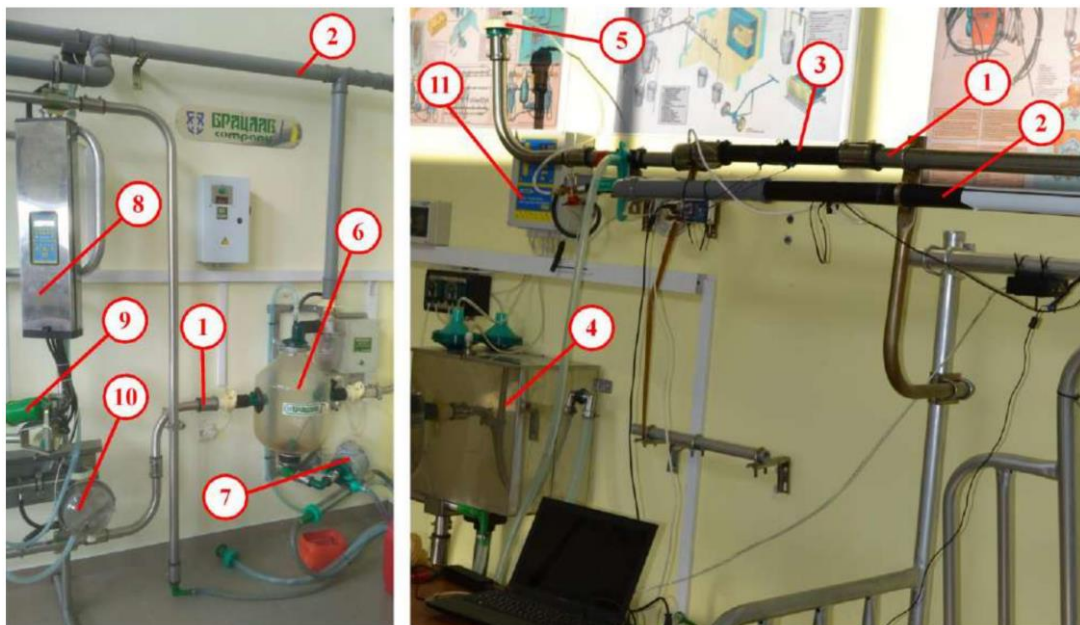


Рис. 3.1. Елементи системи промивки доїльної установки: 1 – молокопровід; 2 – вакуум-провід; 3 – контроль забруднення; 4 – ємкість для миючої рідини; 5 – розроблений пневмо-ежектор; 6 – збірник молока; 7 – насос молочний; 8 – керуюча система доїння; 9 – маніпулятор автоматичного машинного доїння; 10 – лічильник молока; 11 – керуюча система промивки.

Для інтенсифікації процесу руху миючого розчину додатково до молокопроводу встановлюються пневмо-жиклери на відстані L_q один від одного (рис. 3.2).

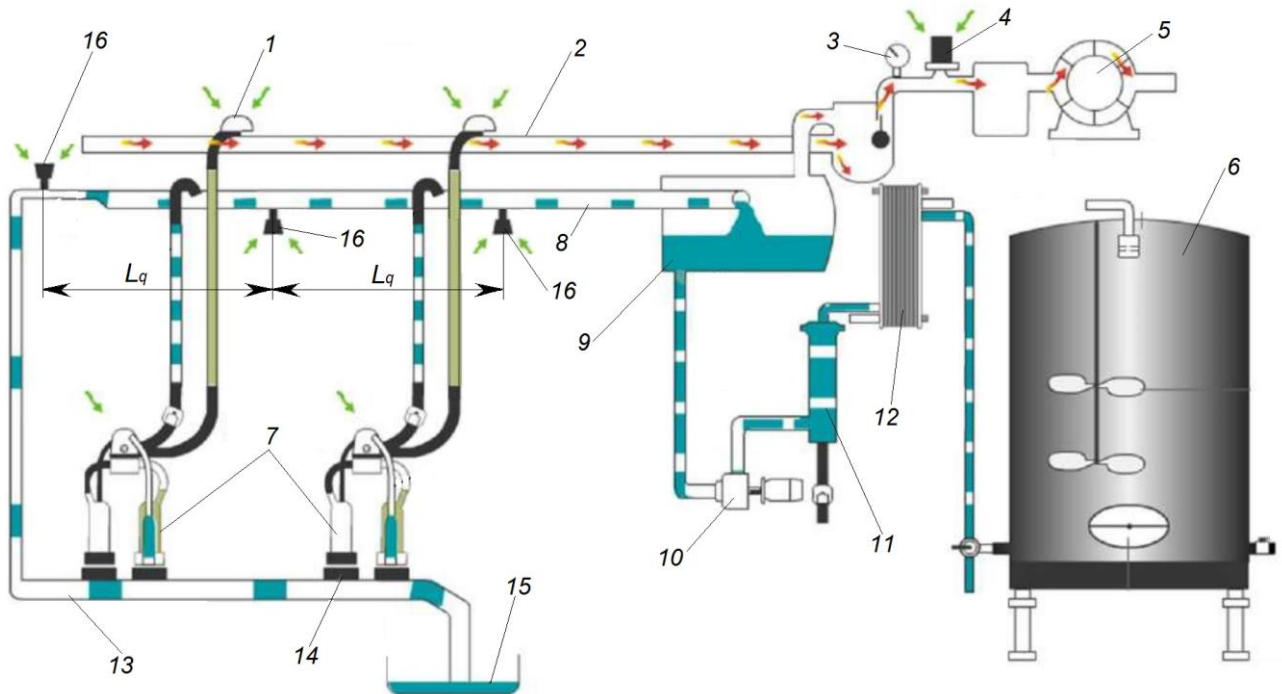


Рис. 3.2. Схема функціонування удосконаленої системи промивки доїльної установки: 1 – вакуум-провід; 2 – пульсатор; 3 – вакуумметр; 4 – регулятор вакууму; 5 – насос вакуумний; 6 – місткість для накопичення молока; 7 – підвісна частина доїльного апарата; 8 – молокопровід; 9 – молокозбірник; 10 – насос молочний; 11 – фільтр молока; 12 – охолодник молока; 13 – трубопровід системи; 14 – приєднувач доїльних стаканів; 15 – місткість миючого розчину; 16 – пневмо-ежектор.

Режим роботи системи промивки доїльної установки визначається керуючою системою шляхом надання керуючих сигналів на відкривання чи закривання пневмо-ежектора за допомогою електромагніта. При цьому час протягом якого повинен бути відкритий (t_r) чи закритий (t_r) пневмо-ежектор потрібно підтвердити проведенням додаткових досліджень для узгодження із теоретичними викладками у попередньому розділі.

Таким чином до факторів, які визначають режимні характеристики розробленого пневмо-ежектора належить рівень вакуумметричного тиску у молокопроводі, період часу роботи у відкритому стані, період часу роботи у закритому стані та кількість повітря яка надійде під час відкритого положення ежектора. Для узгодження вказаних факторів проводяться дослідження удосконаленої системи промивки доїльної установки.

3.2. Встановлення робочих параметрів пневмо-жиклерного пристосування

Під час періоду відкривання пневмо-ежектора до молокопроводу доїльної установки надходить повітря, інтенсивність якого впливає на режими роботи. За результатами дослідження отримали рівняння регресії (3.1), яке вказує на взаємозв'язок інтенсивності зміни тиску у молокопроводі з часовими періодами пневмо-ежектора у відкритому та закритому стані, рівнем вакуумметричного тиску та інтенсивністю надходження повітря через відкритий ежектор. Поверхні відгуку подано на рис. 3.3-3.4.

$$\frac{P_t}{t_p} = -9,256 + 2,05p - 0,012p^2 + 0,15Q_s - 12,05t_s - 0,05pt_s + 0,81t_s^2 - 4,46t_r - 0,028pt_r + 0,813t_s t_r, \quad (3.1)$$

де p – вакуумметричний тиск у молокопроводі, кПа;

Q_s – інтенсивність надходження повітря через відкритий ежектор, м³/с;

t_r – час робочого періоду ежектора, с;

t_s – час періоду зупинки роботи ежектора, с.

Адекватність отриманого рівняння регресії перевіряли за допомогою критерію Фішера. Так, розрахункове значення 1,09 виявилось меншим за табличне 2,1 що вказує на адекватний взаємозв'язок досліджуваних факторів.

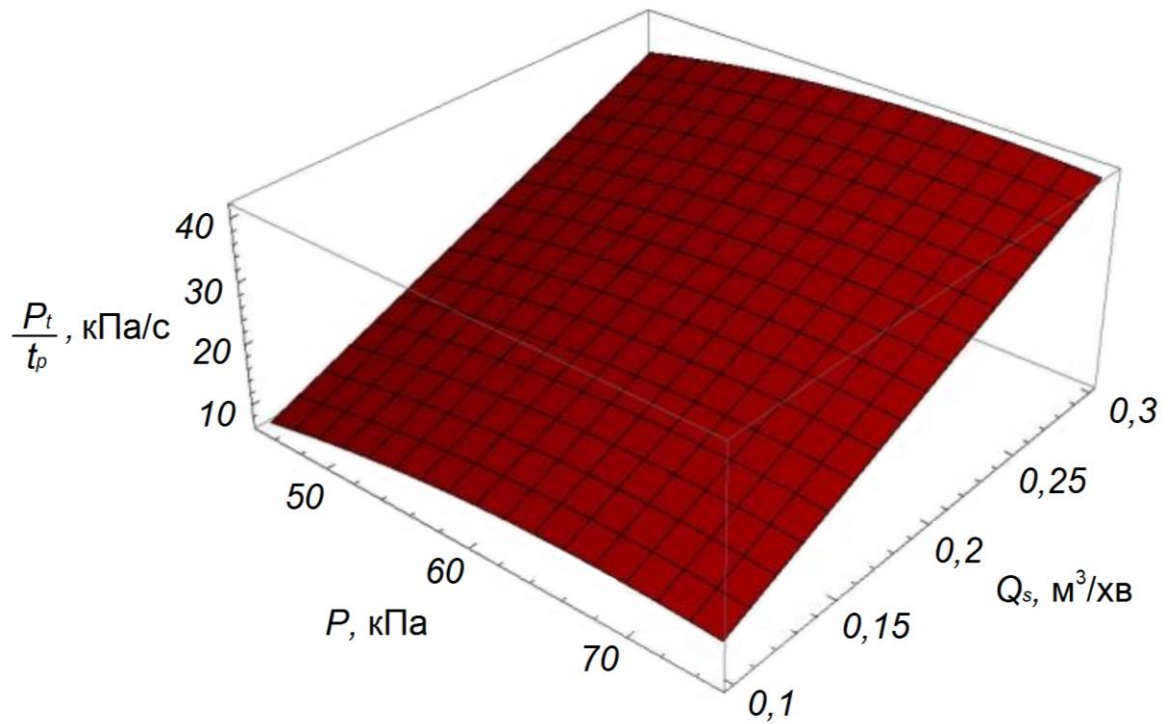


Рис. 3.3. Залежність інтенсивності переміни рівня тиску (p_t/t_p) від рівня вакуумметричного тиску (p) та інтенсивності надходження повітря (Q_s).

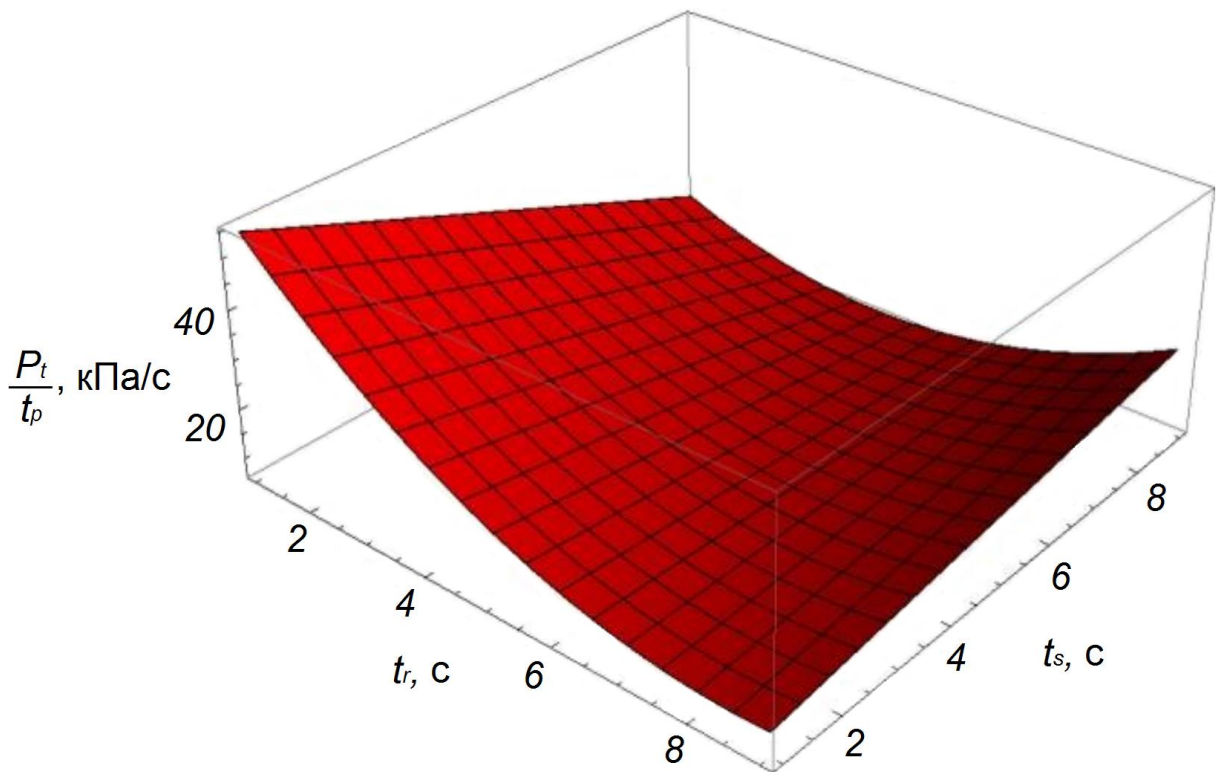


Рис. 3.4. Залежність інтенсивності переміни рівня тиску (p_t/t_p) від часу робочого періоду (t_r) та часу періоду зупинки роботи (t_s) ежектора.

Відповідно до поверхні відгуку на рис. 3.3, зі збільшенням рівня вакуумметричного тиску інтенсивності переміни рівня тиску (p_t/t_p) зростає. За умови максимального рівня вакуумметричного тиску у молокопроводі при максимальній інтенсивності надходження повітря отримуємо найвищу інтенсивності переміни рівня тиску.

Спостерігається лінійна залежність між інтенсивності надходження повітря та інтенсивності переміни рівня тиску. Так, зі збільшенням інтенсивності надходження повітря від 0,1 до 0,3 м³/хв збільшується значення інтенсивності переміни рівня тиску від 6,2 до 32,8 кПа/с. При цьому, рівень вакуумметричного тиску у молокопроводі не має суттєвого впливу, що підтверджується рівнянням регресії (3.1).

Мінімальне значення інтенсивності переміни рівня тиску ($p_t/t_p=6,2$ кПа/с) спостерігається за умови рівня вакуумметричного тиску $p=46$ кПа та інтенсивності надходження повітря $Q_s=0,1$ м³/хв.

Аналіз поверхні відгуку на рис. 3.4 вказує на суттєвий вплив часу періоду відкритого положення ежектора (t_r) на інтенсивності переміни рівня тиску (p_t/t_p). Так, зі збільшенням часу відкриття пневматичного ежектора величина інтенсивності переміни рівня тиску зменшується до мінімального значення. При цьому час періоду закритого положення пневматичного ежектора не має суттєвого впливу на інтенсивності переміни рівня тиску. Продовження часу періоду закритого положення ежектора до максимального значення за умови максимального часу періоду відкритого положення забезпечує несуттєве зростання інтенсивності переміни рівня тиску. Але за умови мінімального часу періоду відкритого положення ежектора при збільшенні часу періоду закритого положення спостерігається зворотній процес – інтенсивності переміни рівня тиску знижується. Це вказує на присутність ексцентриситету, що спонукає до виявлення оптимального значення.

Так, за умови інтенсивності надходження повітря $Q_s=0,3$ м³/хв, рівню вакуумметричного тиску $p=47$ кПа, часу періоду відкритого положення ежектора $t_r=5,3$ с, часу періоду зупинки роботи ежектора $t_s=4,3$ с при внутрішньому

діаметрі молокопроводу $d_r=50$ мм та віддалі між пневматичними жиклерами $L_q=5$ м отримуємо раціональне значення інтенсивності переміни рівня тиску $p_t/t_p=43,5$ кПа/с.

За результатами досліджень отримали поверхню відгуку яка встановлює взаємозв'язок інтенсивності переміни рівня тиску (p_t/t_p) від часу робочого періоду (t_r) та часу періоду зупинки роботи (t_s) ежектора (рис. 3.5).

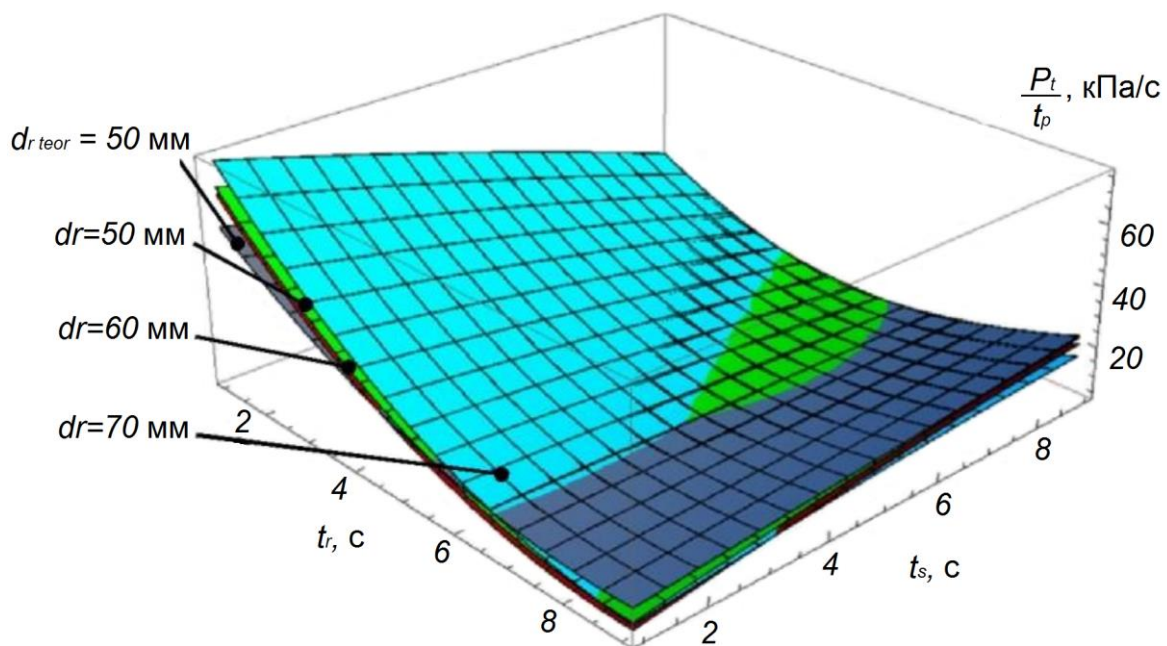


Рис. 5.5. Залежність інтенсивності переміни рівня тиску (p_t/t_p) від часу робочого періоду (t_r) та часу періоду зупинки роботи (t_s) ежектора при заданому діаметрі молокопроводу (d_r).

Аналіз поверхні відгуку на рис. 3.5 вказує на максимальне наближення теоретичних передумов та експериментальних даних для внутрішнього діаметра молокопроводу $d_r=50$ мм. Так, коефіцієнт детермінації становить $R^2=0,98$, коефіцієнт кореляції $r=0,99$, що вказує на адекватні теоретичні дослідження та узгодження їх із експериментальними дослідженнями.

Проведені дослідження підтверджують теоретичні викладки впливу обраних факторів на ефективність функціонування запропонованої системи

керування промивкою доїльної установки із використанням керованого пневмо-ежектора.

3.3. Висновки до розділу 3

1. Встановлено, що режими роботи системи промивки доїльної установки визначаються керуючою системою шляхом надання керуючих сигналів на відкривання чи закривання пневмо-ежектора за допомогою електромагніта. До факторів, які визначають режимні характеристики розробленого пневмо-ежектора належить рівень вакуумметричного тиску у молокопроводі, період часу роботи у відкритому стані, період часу роботи у закритому стані та кількість повітря яка надійде під час відкритого положення ежектора.

2. Встановлено, що зі збільшенням рівня вакуумметричного тиску інтенсивності переміни рівня тиску (p_i/t_p) у молокопроводі зростає. За умови максимального рівня вакуумметричного тиску у молокопроводі при максимальній інтенсивності надходження повітря отримуємо найвищу інтенсивності переміни рівня тиску. Виявлено, що зі збільшенням інтенсивності надходження повітря від 0,1 до 0,3 м³/хв збільшується значення інтенсивності переміни рівня тиску від 6,2 до 32,8 кПа/с. Доведено, що мінімальне значення інтенсивності переміни рівня тиску ($p_i/t_p=6,2$ кПа/с) спостерігається за умови рівня вакуумметричного тиску $p=46$ кПа та інтенсивності надходження повітря $Q_s=0,1$ м³/хв.

3. Встановлено, що за умови інтенсивності надходження повітря $Q_s=0,3$ м³/хв, рівню вакуумметричного тиску $p=47$ кПа, часу періоду відкритого положення ежектора $t_r=5,3$ с, часу періоду зупинки роботи ежектора $t_s=4,3$ с при внутрішньому діаметрі молокопроводу $d_r=50$ мм та віддалі між пневматичними жиклерами $L_q=5$ м отримуємо раціональне значення інтенсивності переміни рівня тиску $p_i/t_p=43,5$ кПа/с.

ВИСНОВКИ

1. Проведена оцінка доїльних установок та їх вплив на якість молока вказала, що зі збільшенням поверхні взаємодії молока із елементами доїльної установки зростає його забрудненість. Кожен елемент доїльної установки залежно від правильності експлуатації має свій внесок у ступінь забруднення молока. Різке збільшення забрудненості спостерігається у доїльних установках із значною протяжністю молокопроводу. Основним способом зниження ступені забруднення молока є якісна очистка поверхні молокопроводу після циклу машинного доїння. З цією метою у доїльних установках використовують системи промивки, які дають позитивні результати роботи. Проте, дослідниками майже одноставно наголошується на необхідності інтенсифікації процесу для видалення стійких забруднень. З цією метою рекомендується забезпечити потік миючого розчину у вигляді періодичної гідравлічної пробки. У зв'язку із цим важливим є удосконалення та покращення режимів автоматичних систем промивки молокопроводу та доїльного обладнання.

2. Результати теоретичних досліджень вказують на необхідність збільшення швидкості миючої рідини зі зростанням зусилля поверхневого натягу між часточкою бруду та миючою рідиною. При цьому внутрішній розмір молочного трубопроводу не має суттєвого впливу на інтенсивність процесу. Встановлено, що за однакових умов у трубопроводі меншого діаметра швидкість миючої рідини спостерігається вищою. Доведено, що зі збільшенням зчіпних властивостей часточки бруду її геометричні параметри, зокрема дотичні кути, не мають суттєвого впливу на швидкість руху миючої рідини. Виконана оцінка впливу сил які утримують частинку бруду на поверхні молокопроводу. Встановлена аналітична залежність для визначення допустимої швидкості руху миючої рідини.

3. Отримана аналітична залежність яка встановлює взаємозв'язок між режимами функціонування пневмо-ежектора, інтенсивністю переміни рівня вакуумметричного тиску та геометричними параметрами внутрішнього

діаметра молокопроводу. Встановлено, що зі збільшенням внутрішнього діаметра молокопроводу зменшуватись інтенсивності переміни рівня тиску, що відповідає за швидкість спрацювання пневмо-ежектора. При цьому, вищому вакууму у молокопроводі відповідає більша тривалість періоду зміни тиску з мінімального до максимального. Збільшення тривалості часу періоду відкриття ежектора) викликає пришвидшення інтенсивності переміни тиску у молокопроводі доїльної установки не залежно від його діаметра. Доведено, що за максимальної величини часу відкриття ежектора ($t_r=8$ с) та максимальному періоді часу закритого положення ежектора ($t_s=8$ с) спостерігається незначне збільшення періоду часу переміни тиску у молокопроводі доїльної установки.

4. Встановлено, що режими роботи системи промивки доїльної установки визначаються керуючою системою шляхом надання керуючих сигналів на відкривання чи закривання пневмо-ежектора за допомогою електромагніта. До факторів, які визначають режимні характеристики розробленого пневмо-ежектора належить рівень вакуумметричного тиску у молокопроводі, період часу роботи у відкритому стані, період часу роботи у закритому стані та кількість повітря яка надійде під час відкритого положення ежектора.

5. Дослідженнями доведено, що зі збільшенням рівня вакуумметричного тиску інтенсивності переміни рівня тиску у молокопроводі зростає. Встановлено, що мінімальне значення інтенсивності переміни рівня тиску ($p_t/t_p=6,2$ кПа/с) спостерігається за умови рівня вакуумметричного тиску $p=46$ кПа та інтенсивності надходження повітря $Q_s=0,1$ м³/хв. Встановлено, що за умови інтенсивності надходження повітря $Q_s=0,3$ м³/хв, рівню вакуумметричного тиску $p=47$ кПа, часу періоду відкритого положення ежектора $t_r=5,3$ с, часу періоду зупинки роботи ежектора $t_s=4,3$ с при внутрішньому діаметрі молокопроводу $d_r=50$ мм та віддалі між пневматичними жиклерами $L_q=5$ м отримуємо раціональне значення інтенсивності переміни рівня тиску $p_t/t_p=43,5$ кПа/с. за рахунок підвищення інтенсивності промивки молокопроводу зростає його чистота, що покращує якість молока та дає можливість отримати додатковий економічний ефект у розмірі 0,38 грн/л видоєного молока.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Шевченко І. А., Алієв Е. Б. Наукові рекомендація з багатокритеріального виробничого контролю доїльних установок. Запоріжжя: Акцент, 2015. 158 с.
2. Ільчук М. М. Якість молока та ефективне його виробництво. *Науковий вісник Національного аграрного університету*. Київ, 2003. Вип. 63. С. 308–319.
3. Карпенко М. М., Кривохижа Є. М., Крижанівський Я. Й. Вплив санітарного стану доїльного устаткування та молочного інвентарю на якість молока. *Агроеліта*. 2014. № 15. С. 40–41.
4. Фененко А. І. Механізації доїння корів. Теорії і практика. К., 2008. 210 с.
5. Фененко А. І. Техніко-технологічні аспекти удосконалення біотехнічної ланки «машина-тварина» процесу виробництва молока. *Механізація та електрифікація сільського господарства*. 2008. Вип. 91. С. 65–77.
6. Луцинко М. М., Іванішин В. В., Сміляр В. І. Перспективні технології виробництва молока : монографія. К.: Видавничий центр «Академія», 2006. 182 с.
7. Крижанівський Я. Й., Кривохижа Є. М. Наукове забезпечення санітарної обробки доїльних установок та молочного посуду на фермі. *Науковий вісник Львівського національного університету ветеринарної медицини та біотехнологій*. 2009. Т. 11, № 2 (41). С. 115–120.
8. Смоляр В. Рівень захворюваності корів на мастит за використання різних типів доїльних установок. *Техніка і технології АПК*. 2014. №1. С. 17–20.
9. Крижанівський Я. Й. Загальні вимоги до засобів, які використовують для санітарної обробки доїльного устаткування. *Науковий вісник Львівського національного університету ветеринарної медицини та біотехнологій*. 2012. Т. 14. № 2 (52). Ч. 1. С. 161–164
10. Палій А. П. Вплив молокопровідних систем доїльних установок на споживчі показники молока. *Тваринництво України*. 2016. № 9. С. 20–22.

11. Кривохижа Є. М. Санітарно-гігієнічне обґрунтування розробки мийно-дезінфікуючого засобу для доїльного устаткування та молочного інвентарю : автореф. дис. ... канд. вет. наук : 16.00.06. Львів, 2011. 20 с.

12. Синицький І. В. Аналіз систем промивки технологічних ліній доїльної установки. *Студентські читання–2023* : матеріали науково-практичної конференції. 25 жовтня 2023 р. Житомир: Поліський національний університет, 2023. С. 204–206.

13. Машины та обладнання для тваринництва / за ред. І. Г. Бойко. Харків : Видавництво ХНТУСГ, 2006. 279 с.

14. Машины для тваринництва та птахівництва. / за ред. В. І. Кравчука та Ю. Ф. Мельника. Дослідницьке: УкрНДПВТ ім. Л.Погорілого, 2009. 207 с.

15. Посібник-практикум: машини та обладнання для тваринництва / І. І. Ревенко та ін. К.:Кондор, 2011. 396 с.

16. Медведський О. В., Синицький І. В. Технічні рішення систем промивки доїльних установок. *Інженерні процеси та системи* : матеріали I Міжнародної науково-практичної конференції здобувачів вищої освіти та молодих вчених. 14-15 червня 2023 р. Житомир: Поліський національний університет, 2023. С. 116–118.

17. Ревенко І. І., Брагінець М. В., Ребенко В. І. Машины та обладнання для тваринництва. К.: Кондор, 2009. 731с.

18. Автомат промивки ППА У 00.000 : веб-сайт. URL : <https://bratslav.com/katalog-zapasnikh-chastin/ppau00000>

19. Бойко А. В. Гідро-газодинаміка : навч. посібник. Х. : НТУ «ХП», 2008. 446 с.

20. Медведський О. В., Синицький І. В. Параметри функціонування системи промивки молокопровідної системи доїльної установки. *Біоенергетичні системи* : матеріали VII Міжнародної науково-практичної конференції. 15-17 листопада 2023 р. Житомир: Поліський національний університет, 2023. С. 108–110.