

Міністерство освіти і науки України
Вінницький національний аграрний університет

Кваліфікаційна наукова
праця на правах рукопису

Бабин Ігор Анатолійович

УДК 637.115:621.647.7(043.3)

ДИСЕРТАЦІЯ

**ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ РОБОТИ
СИСТЕМИ ПРОМИВАННЯ ДОЇЛЬНИХ УСТАНОВОК**

05.05.11 – машини і засоби механізації
сільськогосподарського виробництва

13 – механічна інженерія

Подається на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук

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

_____ І. А. Бабин

Науковий керівник: Гунько Ірина Василівна, кандидат технічних наук, доцент

Вінниця – 2020

АНОТАЦІЯ

Бабин І. А. Підвищення ефективності роботи системи промивання доїльних установок. – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.05.11 – Машини і засоби механізації сільськогосподарського виробництва. – Вінницький національний аграрний університет, Міністерство освіти і науки України, Вінниця, 2020.

Метою досліджень є підвищення ефективності роботи системи промивання доїльних установок шляхом використання повітряних та гідравлічних інжекторів з автоматизованим керуванням режимних параметрів їх дії в залежності від показників забруднення молокопровідного обладнання.

Для досягнення поставленої мети було висунуто наукову гіпотезу, згідно з якою ефективність роботи системи промивання доїльних установок залежить від гідродинамічних процесів руху двофазного мийного розчину і може бути підвищена шляхом використання відповідного устаткування, призначення якого створити умови інтенсифікації процесу руйнування молочних відкладень на поверхнях молокопровідного обладнання, які контактують із молоком.

Задачі дослідження:

- визначити напрями удосконалення техніко-технологічного забезпечення процесу промивання доїльних установок;
- дослідити явище адгезії між молочними відкладеннями і поверхнею молокопровідних ліній і визначити умови руйнування;
- розробити математичну модель гідродинамічного руху двофазного мийного розчину в молокопровідних лініях систем промивання доїльних установок з повітряним інжектором;
- розробити математичну модель роботи гідравлічного інжектора системи промивання;
- розробити систему автоматизації контролю рівня забрудненості молочними відкладеннями молокопровідних ліній доїльних установок;

– провести експериментальні дослідження розробленої системи автоматизованого контролю режимних параметрів роботи повітряного та гідравлічного інжекторів;

– провести виробничу перевірку та економічну оцінку ефективності розробленої автоматизованої системи промивання молокопровідних ліній доїльних установок.

Основою теоретичних досліджень є методи чисельного моделювання, параметричного синтезу технічних систем з використанням математичних моделей взаємодії компонентів багатозафазних середовищах, основних положень механіки, законів гідро-пневмодинаміки, інтегрального й диференційного числення з застосуванням методів оптимізації систем.

Експериментальні дослідження проводились в умовах наукових лабораторій та реального виробничого процесу із використанням математичного методу планування експерименту, методів експертних оцінок і натурних спостережень, а обробка та аналіз результатів експериментальних досліджень здійснювалася з використанням кореляційно-регресійного аналізу.

Обробка результатів досліджень здійснювалася із використанням програмних пакетів Mathematica, Star CCM+ і Planning Experiment.

Встановлено аналітичну залежність руху двофазного мийного розчину молокопровідною лінією доїльної установки з урахуванням гідравлічного удару, які обґрунтовують амплітудно-частотні характеристики системи промивання в залежності від конструкційних параметрів системи й фізико-механічних характеристик двофазного мийного розчину.

Розроблено математичні залежності, що уможливають оптимізацію режимних параметрів повітряного інжектора в залежності від конструктивних параметрів молокопроводів за мінімізації швидкості зміни тиску на довжині молокопровідної лінії й забезпечує руйнування молочних відкладень.

Отримано залежності якісних показників процесу промивання, які встановлюють вплив режимних характеристик повітряного інжектора системи

промивання та конструкційних параметрів молокопровідної системи доїльної установки.

Отримали подальший розвиток залежність швидкості руху мийного розчину з врахування силових характеристик адгезії та фізико-механічних показників молочних відкладень, яка враховує конструкційні параметри молокопроводу та фізико-механічні характеристики мийного розчину, за якої уможлиблюється подолання сил адгезії молочних відкладень.

Удосконалено методику дослідження забрудненості молокопровідної лінії на основі інтенсивності проходження світла заданого спектру через досліджуваний шар та встановлено кореляційний зв'язок між товщиною шару забруднення і інтенсивністю світлового потоку й коефіцієнтом поглинання світла шаром забруднення.

На основі результатів теоретичних та експериментальних досліджень розроблено конструктивну схему автоматизованої системи промивання молокопровідної лінії доїльних установок різних типів, які були впроваджені на підприємстві ТДВ «Брацлав» (сmt. Брацлав, Вінницька обл.), ПП «Агромех Плюс» (м. Дніпро). Результати наукових досліджень пройшли виробничу перевірку та використані фермерськими господарствами ПП «АФ Батьківщина» і ПП «Радівське».

Запропонований метод використання явища гідравлічного удару та струменевого потоку мийного розчину в системі промивання доїльних установок, як засіб інтенсифікації процесу руйнування молочних відкладень, підвищує ефективність системи промивання і якість промивки молокопровідних систем.

Результати дисертаційних досліджень впроваджені при викладанні навчальних дисциплін «Машини та обладнання в тваринництві», «Технічне обслуговування машин та обладнання» при підготовці бакалаврів та магістрів зі спеціальності «Агроінженерія» у Вінницькому національному аграрному університеті.

Новизну технічних рішень та можливе промислове впровадження автоматичної системи промивання молокопровідної лінії доїльної установки підтверджено патентом на корисну модель (№ 140923).

У роботі вирішено проблему підвищення ефективності процесу промивання доїльних установок за рахунок використання інтегрованих в систему повітряних та гідравлічних інжекторів, раціональні режими роботи яких забезпечуються системою автоматизованого контролю.

Аналіз чинників зниження гатунку молока в наслідок бактеріального забруднення показав, що це є результатом неякісного виконання технологічної операції промивання доїльних установок та утворення молочних відкладень на внутрішніх поверхнях молокопровідної системи. В результаті аналізу існуючих конструкцій техніко-технологічного забезпечення промивання встановлено, що найбільш ефективними є циркуляційні системи промивання із регульованим утворенням пробкового режиму. Для підвищення ефективності і ресурсозбереження (зменшенням споживання витрат повітря, гарячої води, енергії і експлуатаційних витрат) процес промивання доїльних установок повинен бути адаптивним на основі даних, отриманих із засобів контролю оцінки стану поверхонь молокопровідної системи і гідродинамічних параметрів руху двофазного мийного розчину, що досягається використанням повітряних і гідро- інжекторів на базі автоматизованого керування.

Аналітичні дослідження явища адгезії між молочними відкладеннями і поверхнею молокопровідної лінії дозволили встановити залежність найменшої допустимої швидкості руху мийного розчину, що забезпечує руйнування молочних відкладень від їх фізико-механічних властивостей (краєвих кутів і поверхневого натягу між миючим розчином і відкладенням), при різних діаметрах молокопровідної лінії.

Розроблено математичну модель руху двофазного мийного розчину молокопровідною лінією, яка базується на рівняннях принципу суперпозиції сил і, як наслідок, тисків, неперервності течії, законів збереження мас, імпульсу і енергії з урахуванням явища гідравлічного удару, що виникає внаслідок дії періодично працюючого повітряного інжектора, інтегрованого в систему промивання. Розроблено математичну модель руху двофазного мийного розчину молокопровідною лінією з урахуванням явища гідравлічного удару, що

виникає внаслідок дії періодично працюючого повітряного інжектора, інтегрованого в систему промивання.

Розроблено математичну модель роботи гідравлічного інжектора, інтегрованого в систему промивання. Отримані залежності радіуса ділянки удару струменя і його тиску на поверхню молокопровідної системи від внутрішнього діаметра насадки, відстані до неї, при різних значеннях тиску на виході насадки. Визначено раціональні значення конструктивних параметрів гідравлічного інжектора, що забезпечують руйнування молочних відкладень

На основі отриманих математичних моделей процесу роботи промивання доїльних установок із повітряним і гідроінжекторами, а також фотодатчика визначення забрудненості молокопровідної лінії доїльної установки розроблено відповідну систему автоматизації, що дозволяє керувати режимними параметрами роботи інжекторів в залежності від рівня забрудненості молочними відкладеннями молокопровідного обладнання доїльних установок шляхом використання інтегрованого в молокопровід фотодатчика.

У результаті проведення експериментальні досліджень запропонованої системи автоматизації контролю режимних параметрів роботи повітряних та гідравлічних інжекторів отримано параметри їх роботи, що забезпечують найбільше значення ступеня чистоти молокопровідного обладнання.

За результатами техніко-економічних розрахунків встановлено, що для доїльної установки УДМ-100 «Брацлавчанка» найбільший питомий економічний ефект (0,11 грн./кг) спостерігається для варіанту із адаптивною тривалістю промивання і адаптивним режимом роботи повітряних інжекторів при відключених гідроінжекторах. Для доїльної установки УДЕ-16 Ялинка найбільший питомий економічний ефект (0,36 грн./кг) спостерігається для варіанту із адаптивною тривалістю промивання і адаптивним режимом роботи повітряних інжекторів при підключених гідроінжекторах.

Ключові слова: доїльна установка, система промивання, гідродинамічні характеристики, режими роботи, якість молока, гідроудар, інжектор, автоматизація, алгоритм.

Список публікацій здобувача за темою дисертації

Статті у наукових фахових виданнях України

1. Бабин І. А. Дослідження метрологічних характеристик пристрою для вимірювання вакуумметричних параметрів лінії промивання доїльної установки. *Всеукраїнський науково-технічний журнал «Техніка, енергетика, транспорт АПК»*. Вінниця, 2018. 3 (102). С. 5-10.

2. Бабин І. А. Фізико-математичний апарат руху двофазного мийного розчину по молокопровідній лінії. *Всеукраїнський науково-технічний журнал «Техніка, енергетика, транспорт АПК»*. Вінниця, 2019. 1 (104). С. 5-12.

3. Пришляк В. М., Бабин І. А. Результати досліджень фотодатчика визначення забрудненості молокопровідної лінії. Загальнодержавний міжвідомчий науково-технічний збірник. *Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин*, вип. 49. Кропивницький: ЦНТУ, 2019. С. 206-212. *(Особистий внесок здобувача: розроблено фотодатчик визначення забрудненості молокопровідної лінії)*

4. Бабин І. А. Обґрунтування режимів роботи системи промивання молокопроводів доїльної установки. *Всеукраїнський науково-технічний журнал «Техніка, енергетика, транспорт АПК»*. Вінниця, 2019. 4 (107). С. 89-99.

5. Пришляк В. М., Бабин І. А., Гунько І. В. Моделювання режимів роботи системи промивання молокопроводів молочно-доїльного обладнання із повітряним інжектором. *Вісник аграрної науки Причорномор'я*, 2020. № 1(105). С. 102-110. *(Особистий внесок здобувача: проведено чисельне моделювання і узагальнення результатів)*

6. Гунько І. В., Бабин І. А., Пришляк В. М. Експериментальні дослідження режимів роботи повітряного інжектора системи промивання молокопроводів доїльної установки. *Наукові горизонти. Scientific Horizons*. Житомир, 2020. № 03 (88). С. 44-53. *(Особистий внесок здобувача: проведені експериментальні дослідження і узагальнені результати)*

Статті у наукових виданнях, включених до міжнародних наукометричних баз

7. Pryshliak Viktor, Babyn Igor. Justification of the modes of the milk washing system of the milking installation. *ТЕКА. Quarterly journal of agri-food industry*, 2019. Vol. 19. No. 4. P. 5-12. *(Особистий внесок здобувача: проведені дослідження і узагальнені результати)*

Патенти України

8. Бабин І. А., Яропуд В. М., Грицун А. В., Пришляк В. М. (2020). Патент України на корисну модель 140923, МПК А01J 7/02 (2006.01). Автоматична система промивання молокопровідної лінії доїльних установок. Заявник: Вінницький національний аграрний університет, № u201909823. Заявл. 16.09.2019. Опубл. 10.03.2020, бюл. № 5. *(Автором запропоновано використовувати фотодатчики і автоматичну систему адаптації системи промивання молокопровідної лінії доїльних установок)*

Матеріали конференцій і тези

9. Бабин Ігор. Методика моделювання процесу переміщення двофазного мийного розчину по молокопровідній лінії. Інноваційні технології та інтенсифікація розвитку національного виробництва: матеріали V міжнар. наук.-практ. конф. 30 травня 2019 р. Тернопіль: Крок, 2019. С. 90-91.

10. Бабин І. Теоретичні дослідження процесу промивання молокопровідної лінії доїльної установки. Тези наукових доповідей XIX Міжнародної наукової конференції «Науково-технічні засади розробки, випробування та прогнозування сільськогосподарської техніки і технологій», присвяченої 85-річчю від дня народження академіка Л. В. Погорілого та 150-річчю від дня народження професора К. Г. Шиндлера, 13 вересня 2019 року, УкрНДІПВТ ім. Л. Погорілого; Дослідницьке, 2019. С. 13-14.

11. Бабин І. А. Моделювання режимів роботи системи промивання молокопроводів молочно-доїльного обладнання із повітряним інжектором. Сучасні проблеми землеробської механіки: матеріали XX Міжнародної наукової конференції, присвяченої 119-й річниці з дня народження академіка Петра Мефодійовича Василенка, 17-19 жовтня, 2019 р. Миколаїв: МНАУ, 2019. С. 87-89.

12. Бабин І. А. Дослідження явища адгезії між відкладеннями і поверхнею молокопровідної лінії. VIII Всеукраїнська науково-технічна конференція «Технічний прогрес у тваринництві та кормовиробництві». смт. Глеваха: ННЦ «ІМЕСГ». 2-27 грудня 2019 р. Глеваха-Київ, 2019. С. 7-9.

ABSTRACT

Babyn I. A. The improvement of efficiency of the washing system of milk-making machines. – Qualifying scientific work on the rights of the manuscript.

Thesis for a Candidate of Science Degree in Specialty 05.05.11 “Machines and Means of Mechanization of Agricultural Production”. – Vinnytsia National Agrarian University, Ministry of Education and Science of Ukraine, Vinnitsa, 2020.

The purpose of the research is to increase the efficiency of the washing system of milk-making machines by applying appropriate automated technical and technological support with reasonable design and mode parameters.

To achieve this goal, a scientific hypothesis has been put forward, according to which the efficiency of the washing system of milk-making machines depends on the hydrodynamic processes of movement of two-phase washing solution and can be ensured by the automated control of the regime parameters of technical and technological support.

Research objectives:

- to determine the areas of improvement of technical and technological support of the washing process of milk-making machines;
- to investigate the phenomenon of adhesion between milk deposits and the surface of milk-conducting lines and to determine the conditions of destruction;
- to develop a mathematical model of hydrodynamic motion of two-phase washing solution in milk-conducting lines of washing systems of milk-making machines with an air injector;
- to develop a mathematical model of the hydraulic injector of a washing system;
- to develop an automated control system of the contamination level with milk deposits of milk-conducting lines of milk-making machines;
- to carry out experimental researches of the developed system of the automated control of mode parameters of work of air and hydraulic injectors;

- to conduct a production inspection and economic evaluation of the effectiveness of the developed automated system for washing milk lines of milk-making machines.

The methods of numerical modeling, parametric synthesis of technical systems using mathematical models of interaction of components in multiphase media, basic mechanics, laws of hydropneumodynamics, integral and differential calculus, using methods of system optimization are the basis of theoretical research.

Experimental studies have been conducted using the mathematical method of experiment planning, methods of expert assessments and field observations, and the processing and analysis of the results of experimental studies have been carried out using correlation-regression analysis.

The research results have been processed using Mathematica, Star CCM +, and Planning Experiment software packages.

The analytical dependence of the movement of the two-phase washing solution of the milk-conducting line of the milk-making machine, taking into account the hydraulic shock is established, which substantiates the amplitude-frequency characteristics of the washing system depending on the design parameters of the system and physical and mechanical characteristics of the two-phase washing solution.

Mathematical dependences have been developed that make it possible to optimize the regime parameters of the air injector depending on the design parameters of milk-conducting line while minimizing the rate of pressure change along its length and ensure the destruction of milk deposits.

The dependences of the qualitative indicators of the washing process, which establish the influence of the regime characteristics of the air injector of the washing system and the design parameters of the milk-conducting system of the milk-making machines, are obtained.

The dependence of the velocity of the washing solution based on the force characteristics of adhesion and physical and mechanical parameters of milk deposits,

which takes into account the structural parameters of the milk-conducting line and physical and mechanical characteristics of the washing solution, which allows overcoming the adhesion forces of milk deposits has made further development.

The method of studying the contamination of the milking line based on the light intensity of a given spectrum through the studied layer has been improved and the correlation between the thickness of the contamination layer and the light flux intensity and the light absorption coefficient of the contamination layer has been established.

Based on the results of theoretical and experimental researches, a constructive scheme of automated system for washing the milk-conducting line of milk-making machines of different types has been developed and implemented at the enterprise TDV "Bratslav" (t.d. Bratslav, Vinnytsia region), PE "Agromekh Plus" (Dnipro). The results of the scientific research have been tested and used by farms PE "Batkivshchyna" and PE "Radivske".

The proposed method of using the phenomenon of hydraulic shock and jet flow of washing solution in the washing system of milk-making machines, as a means of intensifying the process of destruction of milk deposits, increases the efficiency of the washing system and the quality of washing milk systems.

The results of the thesis research have been introduced in the teaching of disciplines: "Machinery and Equipment in Animal Husbandry", "Maintenance of Machinery and Equipment" in the preparation for Bachelor`s and Master`s degrees on specialty "Agroengineering" at Vinnytsia National Agrarian University.

The novelty of technical solutions and possible industrial implementation of the automatic washing system of the milk-conducting line of the milking machines is confirmed by a utility model patent (№ 140923).

The problem of increase efficiency of washing process of milking machines at the expense of use of the air and hydraulic injectors integrated in system which rational operating modes are provided by system of the automated control is solved in the research.

The analysis of reduction factors of milk quality due to bacterial contamination has shown that this is the result of poor performance of the technological operation of washing milking machines and the formation of milk deposits on the inner surfaces of the milk-conducting system. As a result of the analysis of the existing constructions of technical and technological support of washing it has been established that circulating systems of washing with regulated formation of a stopper mode are the most effective. To increase efficiency and resource conservation (reducing the consumption of air, hot water, energy and operating costs), the process of washing milking machines should be adaptive based on data obtained from monitoring the surface of the milking system and hydrodynamic parameters of two-phase washing solution achieved by using air and hydro-injectors based on automated control.

Analytical studies of the phenomenon of adhesion between milk deposits and the surface of the milking line allowed to establish the dependence of the minimum allowable velocity of the washing solution, which ensures the destruction of milk deposits on their physical and mechanical properties (edge angles and surface tension between the washing solution) .

A mathematical model of the motion of a two-phase washing solution by the milk-conducting line, based on the equations of the principle of superposition of forces and, as a consequence, pressures, flow continuity, laws of conservation of mass, momentum and energy, taking into account into the washing system has been developed. A mathematical model of the motion of a two-phase washing solution by a milk-conducting line, taking into account the phenomenon of hydraulic shock, which occurs due to the action of a periodically operating air injector integrated into the flushing system has been developed.

A mathematical model of the hydraulic injector integrated into the washing system has been developed. The dependences of the radius of the jet impact section and its pressure on the surface of the milk-conducting system on the inner diameter of the nozzle, the distance to it, at different values of the pressure at the outlet of the

nozzle have been obtained. Rational values of constructive parameters of the hydraulic injector providing destruction of milk deposits have been defined.

Based on the obtained mathematical models of the process of washing milking units with air and hydro-injectors, as well as a photosensor for determining the contamination of the milk line of the milk-making machines, an appropriate automation system has been developed to control the operating parameters of injectors depending on the level of milk deposits by using of a photosensor integrated in the milk-conducting line.

As a result of laboratory experimental researches of the offered system of automation control of mode parameters of air and hydraulic injectors work and the parameters of their work providing the greatest value of degree of purity of the milk-conducting equipment have been received.

According to the results of the technical and economic calculations it has been established that the UDM-100 "Bratslavchanka" milk-making machine has the greatest specific economic effect (0.11 UAH / kg) for the variant with adaptive duration of washing and adaptive mode of the operation of air injectors with disconnected hydraulic injectors. The UDE-16 milk-making machine Yalynka has the greatest specific economic effect (0.36 UAH / kg) for the variant with adaptive rinsing time and adaptive mode of operation of air injectors with connected hydro-injectors.

Keywords: milk-making machine, washing system, hydrodynamic characteristics, operating modes, milk quality, water hammer, injector, automation, algorithm.

List of published works on the topic of the thesis

Articles in scientific professional publications of Ukraine

1. Babyn IA Investigation of metrological characteristics of the device for measuring the vacuum parameters of the washing line of the milking parlor. All-Ukrainian scientific and technical journal "Engineering, energy, transport of agro-industrial complex". Vinnytsia, 2018. 3 (102). P. 5-10.

2. Babyn IA Physical and mathematical apparatus of movement of two-phase washing solution on the milk line. All-Ukrainian scientific and technical journal "Engineering, energy, transport of agro-industrial complex". Vinnytsia, 2019. 1 (104). P. 5-12.

3. Pryshlyak VM, Babyn IA The results of research photosensor to determine the contamination of the milk line. National interdepartmental scientific and technical collection. Design, manufacture and operation of agricultural machinery, vol. 49. Kropyvnytskyi: CNTU, 2019. P. 206-212. *(Personal contribution of the applicant: a photosensor for determining the contamination of the milk line has been developed)*

4. Babyn IA Substantiation of modes of operation of the system of washing the milk lines of the milking parlor. All-Ukrainian scientific and technical journal "Engineering, energy, transport of agro-industrial complex". Vinnytsia, 2019. 4 (107). P. 89-99.

5. Pryshlyak VM, Babyn IA, Gunko IV Modeling of modes of operation of the system of washing milk ducts of milking equipment with an air injector. Bulletin of Agrarian Science of the Black Sea Region, 2020. № 1 (105). P. 102-110. *(Personal contribution of the applicant: numerical modeling and generalization of results)*

6. Gunko IV, Babyn IA, Pryshlyak VM Experimental studies of the modes of operation of the air injector of the milk washing system of the milking parlor. Scientific horizons. Scientific Horizons. Zhytomyr, 2020. № 03 (88). P. 44-53. *(Personal contribution of the applicant: experimental studies and generalized results)*

Articles in scientific journals included in international scientific databases

7. Pryshliak Viktor, Babyn Igor. Justification of the modes of the milk washing system of the milking installation. TEKA. Quarterly journal of agri-food industry, 2019. Vol. 19. No. 4. P. 5-12. *(Personal contribution of the applicant: conducted research and generalized results)*

Patents of Ukraine

8. Babyn IA, Yaropud VM, Gritsun AV, Prishlyak VM (2020). Patent of Ukraine for utility model 140923, IPC A01J 7/02 (2006.01). Automatic system of washing of the milk line of milking installations. Applicant: Vinnytsia National Agrarian University, № u201909823. Application 09/16/2019 Publ. 10.03.2020, bul. № 5. *(The author proposes to use photosensors and automatic system of adaptation of the system of washing the milk line of milking parlors)*

Conference proceedings and abstracts

9. Babyn Igor. Method of modeling the process of moving two-phase washing solution along the milk line. Innovative technologies and intensification of national production development: materials of V International. scientific-practical conf. May 30, 2019. Ternopil: Krok, 2019. S. 90-91.

10. Babyn I. Theoretical studies of the process of washing the milk line of the milking parlor. Abstracts of scientific reports of the XIX International Scientific Conference "Scientific and Technical Principles of Development, Testing and Forecasting of Agricultural Machinery and Technologies", dedicated to the 85th anniversary of the birth of Academician LV Pogorily and the 150th anniversary of the birth of Professor KG Schindler, September 13, 2019, UkrNDIPVT them. L. Pogorily; Research, 2019. pp. 13-14.

11. Babyn IA Modeling of modes of operation of the system of washing of milk pipelines of the milking-milking equipment with an air injector. Modern problems of agricultural mechanics: materials of the XX International scientific conference dedicated to the 119th anniversary of the birth of Academician Peter Vasilenko, October 17-19, 2019. Mykolaiv: MNAU, 2019. P. 87-89.

12. Babyn IA Investigation of the phenomenon of adhesion between sediments and the surface of the milk line. VIII All-Ukrainian scientific and technical conference "Technical progress in animal husbandry and feed production". village Glevakha: NSC "IMESG". December 2-27, 2019. Glevakha-Kyiv, 2019. pp. 7-9.

ЗМІСТ

ВСТУП	19
РОЗДІЛ 1 СУЧАСНИЙ СТАН ПИТАННЯ І ВИБІР НАПРЯМІВ	
ДОСЛІДЖЕНЬ	25
1.1 Чинники і наслідки неефективного промивання доїльних установок ...	25
1.2 Аналіз техніко-технологічного забезпечення промивання доїльних установок.....	28
1.2.1 Типи доїльних установок і молочно-доїльного обладнання	28
1.2.2 Класифікація системи промивання доїльних установок.....	32
1.2.3 Аналіз відомих конструкцій систем промивання доїльних установок.....	34
1.3 Аналіз режимних параметрів техніко-технологічного забезпечення промивання доїльних установок	42
1.4 Теоретичні передумови дослідження техніко-технологічного забезпечення промивання доїльних установок.....	44
1.5 Аналіз моделей переміщення двофазного мийного розчину молокопровідною лінією доїльної установки	49
1.6 Мета і задачі досліджень.....	54
РОЗДІЛ 2 ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ПРОМИВАННЯ МОЛОКОПРОВІДНОЇ ЛІНІЇ ДОЇЛЬНОЇ УСТАНОВКИ	
2.1 Конструктивно-технологічна схема система промивання молокопровідної лінії доїльних установок.....	57
2.2 Обґрунтування умов подолання сил адгезії між молочними відкладеннями і поверхнею молокопровідної лінії	58
2.3 Розвиток аналітичної моделі переміщення двофазного мийного розчину молокопровідною лінією із запропонованим повітряним інжектором.....	61

2.4	Моделювання руху двофазного мийного розчину горизонтальною молокопровідною лінією з запропонованим повітряним інжектором ..	63
2.5	Фізико-математичний апарат явища гідравлічного удару для періодично працюючого інжектора системи промивання	74
2.6	Обґрунтування режимів роботи повітряного інжектора системи промивання.....	80
2.7	Фізико-математична модель роботи гідроінжектора системи промивання.....	91
2.8	Висновки з розділу	95
РОЗДІЛ 3 ПРОГРАМА І МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ.....		
	ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	98
3.1	Програма експериментальних досліджень	98
3.2	Методика досліджень фотодатчика визначення забрудненості молокопровідної лінії	99
3.3	Методика експериментальних досліджень режимів роботи повітряного інжектора системи промивання молокопроводів доїльної установки	103
3.4	Методика експериментальних досліджень режимів роботи гідроінжектора системи промивання.....	110
3.5	Статистична обробка результатів досліджень.....	114
3.6	Висновки з розділу	117
РОЗДІЛ 4 РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ.....		
4.1	Результати експериментальних досліджень фотодатчика визначення забрудненості молокопровідної лінії	118
4.2	Результати експериментальних досліджень режимів роботи повітряного інжектора системи промивання молокопроводів доїльної установки	120
4.3	Результати експериментальних досліджень режимів роботи гідроінжектора системи промивання	130
4.4	Висновки з розділу	134

РОЗДІЛ 5	РЕАЛІЗАЦІЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	137
5.1	Обґрунтування конструктивно-технологічної схеми автоматичної системи промивання молокопровідної лінії доїльних установок.....	137
5.2	Методика виробничої перевірки автоматичної системи промивання молокопровідної лінії доїльних установок.....	141
5.3	Результати виробничої перевірки автоматичної системи промивання молокопровідної лінії доїльних установок.....	145
5.4	Техніко-економічне обґрунтування застосування автоматичної системи промивання молокопровідної лінії доїльних установок.....	149
5.5	Упровадження результатів досліджень	154
5.6	Висновки з розділу	155
ВИСНОВКИ.....		157
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....		160
ДОДАТКИ.....		186

ВСТУП

Актуальність теми. Державною цільовою програмою розвитку аграрного сектора економіки на період до 2020 року передбачено збільшення виробництва молока і поліпшення його якості. Серед показників якості, як сировини для подальшої переробки, суттєвим є його бактеріальна забрудненість. Даний показник залежить від санітарно-гігієнічного стану доїльного обладнання, своєчасного охолодження молока, вимог та впливу інших зовнішніх чинників. В процесі доїння молоко проходить через доїльні апарати, молокопровід, молокозбірники, індивідуальні та групові лічильники тощо, які є джерелом бактеріального забруднення. Рекомендованими умовами покращення якості молока є забезпечення ефективності процесу промивання доїльних установок шляхом збільшення його тривалості, що призводить до підвищення експлуатаційних витрат (води, мийних засобів, електроенергії тощо) та собівартості молочної продукції. Таким чином, створення автоматизованого техніко-технологічного забезпечення системи промивання доїльних установок, що інтенсифікує процес без додаткових витрат, набуває першочергового значення при вирішенні завдання підвищення якості молока.

Зв'язок роботи з науковими програмами. Дослідження проведені у Вінницькому національному аграрному університеті згідно з планом науково-дослідних робіт на 2012-2018 рр. «Інтенсифікація процесів харчових, фармацевтичних та мікробіологічних виробництв шляхом механічної та теплофізичної технологічної дії» (державний реєстраційний номер 0112U006704) та на 2018-2022 рр. «Педагогічні та технічні основи розвитку наукової діяльності з проектування сільськогосподарських машин й технологічних процесів» (державний реєстраційний номер 0117U007539).

Мета дослідження: підвищення ефективності роботи системи промивання доїльних установок шляхом використання повітряних та гідравлічних інжекторів з автоматизованим керуванням режимних параметрів їх дії в залежності від показників забруднення молокопровідного обладнання.

Для досягнення поставленої мети було висунуто **наукову гіпотезу**, згідно з якою ефективність роботи системи промивання доїльних установок залежить від гідродинамічних процесів руху двофазного мийного розчину і може бути підвищена шляхом використання відповідного устаткування, призначення якого створити умови інтенсифікації процесу руйнування молочних відкладень на поверхнях молокопровідного обладнання, які контактують із молоком.

Задачі досліджень:

– визначити напрями удосконалення техніко-технологічного забезпечення процесу промивання доїльних установок;

– дослідити явище адгезії між молочними відкладеннями і поверхнею молокопровідних ліній і визначити умови руйнування;

– розробити математичну модель гідродинамічного руху двофазного мийного розчину в молокопровідних лініях систем промивання доїльних установок з повітряним інжектором;

– розробити математичну модель роботи гідравлічного інжектора системи промивання;

– розробити систему автоматизації контролю рівня забрудненості молочними відкладеннями молокопровідних ліній доїльних установок;

– провести експериментальні дослідження розробленої системи автоматизованого контролю режимних параметрів роботи повітряного та гідравлічного інжекторів;

– провести виробничу перевірку та економічну оцінку ефективності розробленої автоматизованої системи промивання молокопровідних ліній доїльних установок.

Об'єкт дослідження. Технологічний процес промивання молокопровідних ліній доїльних установок.

Предмет дослідження. Закономірності впливу кінематико-динамічних характеристик двофазного мийного середовища на ступінь очищення молокопровідних систем від фізико-механічних властивостей молочних

відкладень та параметрів технічної системи доїльних установок й двофазного мийного середовища.

Методи дослідження. Основою теоретичних досліджень є методи чисельного моделювання, параметричного синтезу технічних систем з використанням математичних моделей взаємодії компонентів багатofазних середовищах, основних положень механіки, законів гідро-пневмодинаміки, інтегрального й диференційного числення, з застосуванням методів оптимізації систем.

Експериментальні дослідження проводились в умовах наукових лабораторій та реального виробничого процесу із використанням математичного методу планування експерименту, методів експертних оцінок і натурних спостережень, а обробка та аналіз результатів експериментальних досліджень здійснювалася з використанням кореляційно-регресійного аналізу.

Обробка результатів досліджень здійснювалась із використанням програмних пакетів Mathematica, Star CCM+ і Planning Experiment.

Наукова новизна одержаних результатів. Вперше:

– встановлено аналітичну залежність руху двофазного мийного розчину молокопровідною лінією доїльної установки з урахуванням гідравлічного удару, які обґрунтовують амплітудно-частотні характеристики системи промивання в залежності від конструкційних параметрів системи й фізико-механічних характеристик двофазного мийного розчину;

– розроблено математичні залежності, що уможливають оптимізацію режимних параметрів повітряного інжектора в залежності від конструктивних параметрів молокопроводів за мінімізації швидкості зміни тиску на довжині молокопровідної лінії й забезпечує руйнування молочних відкладень;

– отримано залежності якісних показників процесу промивання, які встановлюють вплив режимних характеристик повітряного інжектора системи промивання та конструкційних параметрів молокопровідної системи доїльної установки.

Отримали подальший розвиток:

– залежність швидкості руху мийного розчину з врахування силових характеристик адгезії та фізико-механічних показників молочних відкладень, яка враховує конструкційні параметри молокопроводу та фізико-механічні характеристики мийного розчину, за якої уможлиблюється подолання сил адгезії молочних відкладень.

Удосконалено:

– методику дослідження забрудненості молокопровідної лінії на основі інтенсивності проходження світла заданого спектру через досліджуваний шар та встановлено кореляційний зв'язок між товщиною шару забруднення і інтенсивністю світлового потоку й коефіцієнтом поглинання світла шаром забруднення.

Практичне значення одержаних результатів. На основі результатів теоретичних та експериментальних досліджень розроблено конструктивну схему автоматизованої системи промивання молокопровідної лінії доїльних установок різних типів, які були впроваджені на підприємстві ТДВ «Брацлав» (сmt. Брацлав, Вінницька обл.), ПП «Агромех Плюс» (м. Дніпро). Результати наукових досліджень пройшли виробничу перевірку та використані фермерськими господарствами ПП «АФ Батьківщина» і ПП «Радівське».

Запропонований метод використання явища гідравлічного удару та струменевого потоку мийного розчину в системі промивання доїльних установок, як засіб інтенсифікації процесу руйнування молочних відкладень, підвищує ефективність системи промивання і якість промивання молокопровідних систем.

Результати дисертаційних досліджень впроваджені при викладанні навчальних дисциплін «Машини та обладнання в тваринництві», «Технічне обслуговування машин та обладнання» при підготовці бакалаврів та магістрів зі спеціальності «Агроінженерія» у Вінницькому національному аграрному університеті.

Новизну технічних рішень та можливе промислове впровадження автоматичної системи промивання молокопровідної лінії доїльної установки підтверджено патентом на корисну модель (№ 140923).

Особистий внесок здобувача. Теоретичні та експериментальні результати досліджень, що виносяться на захист, отримані автором самостійно. У наукових роботах, які опубліковано у співавторстві, здобувачу належать: проведення експериментальних досліджень фотодатчика визначення забрудненості молокопровідної лінії; проведення чисельного моделювання режимів роботи повітряного інжектора системи промивання молокопроводів доїльної установки, проведення експериментальних досліджень режимів роботи повітряного інжектора системи промивання молокопроводів доїльної установки; розробка конструктивно-технологічної схеми автоматичної системи промивання молокопровідної лінії доїльних установок.

Загальна частка участі в опублікованих у співавторстві працях становить більше 70 %, а в охороно-правових документах – 70 %.

Апробація результатів дисертації. Основні результати роботи доповідались на II Всеукраїнській науково-практичній конференції «Молодіжний науковий форум» (ВНАУ, м. Ладижин, 23-24.04.2019 р.), V Міжнародній науково-практичній конференції «Інноваційні технології та інтенсифікація розвитку національного виробництва» (ТДСДС ІКСГП НААН, м. Тернопіль, 30.05.2019 р.), XIX Міжнародній науковій конференції «Науково-технічні засади розробки, випробування та прогнозування сільськогосподарської техніки і технологій» (УкрНДІПВТ ім. Л. Погорілого, смт. Дослідницьке, 13.09.2019 р.), XX Міжнародній науковій конференції «Сучасні проблеми землеробської механіки» (МНАУ, м. Миколаїв, 17-19.10.2019 р.), VIII Всеукраїнській науково-технічній конференції «Технічний прогрес у тваринництві та кормовиробництві» (ННЦ «ІМЕСГ», смт. Глеваха, 2-27.12.2019 р.), Всеукраїнській науково-практичній конференції «Від науки до практики: професійна підготовка фахівця в контексті потреб сучасного ринку праці» (ТПК ВНАУ, м. Вінниця, 12-13.03.2020 р.).

Публікації. Основні результати дисертаційної роботи опубліковані у 12 наукових працях, у тому числі: 6 статей у спеціалізованих наукових виданнях України; 1 публікація у закордонному виданні; 4 тези у збірниках доповідей наукових конференцій; отримано 1 патент на корисну модель.

Структура та обсяг дисертації. Дисертація складається зі вступу, 5 розділів, висновків, списку використаних джерел і додатків. Повний обсяг дисертації становить 235 сторінки, у тому числі 16 додатків на 50 сторінках. Обсяг основного тексту дисертації становить 185 сторінки, містить 80 рисунків, 11 таблиць. Список використаних джерел нараховує 224 найменування на 27 сторінках.

РОЗДІЛ 1

СУЧАСНИЙ СТАН ПИТАННЯ І ВИБІР НАПРЯМІВ ДОСЛІДЖЕНЬ

1.1 Чинники і наслідки неефективного промивання доїльних установок

З 1 січня 2019 року замість ДСТУ 3662-97 «Молоко коров'яче незбиране. Вимоги до закупівлі» [1] набрав чинності ДСТУ 3662:2018 «Молоко-сировина коров'яче. Технічні умови» [2] (табл. 1.1). Новий стандарт містить характеристики та технічні умови для здійснення закупівлі та приймання молока коров'ячого. Таке рішення передбачено у наказі Державного підприємства «Український науково-дослідний і навчальний центр проблем стандартизації, сертифікації та якості» (ДП «УкрНДНЦ») від 27.06.2018 № 188 «Про прийняття та скасування національного нормативного документа; про внесення зміни до наказу від 18 грудня 2017 р. № 420».

Таблиця 1.1 – Вимоги до якості молока за ДСТУ 3662:2018 [2]

Назва показника, одиниця вимірювання	Норма для гатунків			Методи контролювання
	екстра	вищий	перший	
Кількість мезофільних аеробних і факультативно-анаеробних мікроорганізмів (за температури 30° C), тис. КУО/см ³	< 100	< 300	< 500	ДСТУ 7357 [3], ДСТУ 7089 [4], ДСТУ ISO 4833 [5], ДСТУ IDF 100B [6]
Кількість соматичних клітин, тис/см ³	< 400	< 400	< 500	ДСТУ ISO 13366-1 [7], ДСТУ ISO 13366-2 [8], ДСТУ 7672 [9]

Дегтярьов Г. П. і Рекін А. М. [10] відзначають, що молоко з дійки вимені виходить практично стерильним (за винятком перших цівок, що становлять «мікробну пробку», які потрібно здоювати окремо). Внаслідок проходження через доїльну установку відбувається зміна фізико-хімічного складу молока. Так, просування молокопроводною лінією доїльної установки призводить до бактеріального обсіменіння молока і на той час, коли воно потрапляє в молокозбірник, в ньому вже формується певна мікрофлора. Її кількісний і

якісний склад, змінюючись і розвиваючись з часом залежно від умов зберігання і транспортування молока, визначає санітарно-гігієнічні показники сировини при передачі на переробку [11, 12, 13].

Зміна бактеріального обсіменіння молока під час його переміщення молокопроводною лінією доїльної установки на підставі усереднення даних Дегтярьова Г. П. [14], Березуцького В. І. [15], Котелевича В.А. [16], Цоя Ю.О. і Мамедової Р.А. [17] представлена на рис. 1.1., згідно з яким можна відзначити зростання бактеріального обсіменіння молока в міру просування його технологічною лінією.

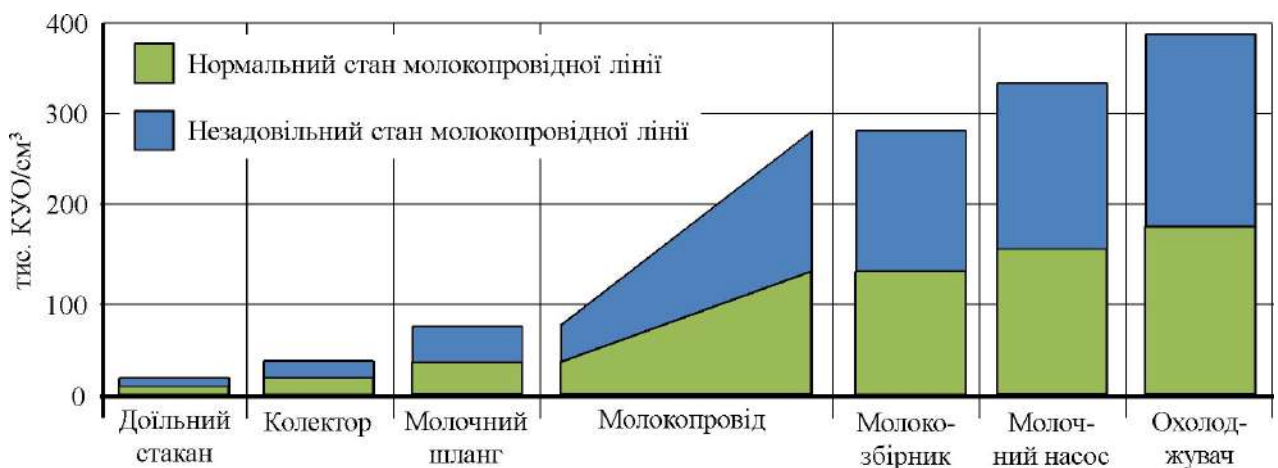


Рисунок 1.1 – Зміна бактеріального обсіменіння молока під час його переміщення молокопроводною лінією доїльної установки

Як зазначає Панін О.О. [124], неякісне очищення молочно-доїльного обладнання та відсутність оперативних методів контролю якості промивання призводять до забруднення і накопичення відкладень на внутрішніх поверхнях молокопроводних систем (рис. 1.2).

На всьому шляху від доїння до переробки відбувається мікробне забруднення молока. Швидкість накопичення і динаміка розвитку певних видів мікроорганізмів залежить від санітарного стану молокопроводних ліній, умов зберігання молока і температурного режиму [18].



Рисунок 1.2. – Фрагменти механічних забруднень на окремих ділянках молокопровідних систем [124]

У разі недостатнього очищення і дезінфекції на поверхні молокопровідної лінії доїльної установки протягом короткого періоду часу (20–40 хв.) накопичуються молочні залишки, які є сприятливим середовищем для розвитку мікроорганізмів. Так, молочнокислі бактерії у подібних середовищах подвоюють свою чисельність у середньому за 40 хв., бактерії групи кишкової палички – за 20 хв. при 30°C [19], тобто в ідеальних умовах в період між доїнням (9 год при дворазовому доїнні) чисельність мікрофлори зростає приблизно в 17 тис. разів. Бактерії, що залишаються після дезінфекції в кількості 2 % в середовищі ліпідно-протеїнових забруднень можуть відновити свою чисельність приблизно за 3,5 год [20, 21].

Якість молока і безпека його споживання значною мірою залежать від чистоти і стерильності молокопровідної лінії доїльної установки [22].

Зміни в складі молока, обумовлені метаболічною активністю мікроорганізмів, що характеризується появою смакових і ароматичних речовин, зміщення рН, зменшенням стабільності казеїну (знижена стабільність до тепла, спонтанне згортання) [23].

Зміна вихідних властивостей молока в результаті бактеріальних процесів можлива тільки при числі мікроорганізмів понад 100 тис. КУО/см³ і чітко проявляються при числі мікроорганізмів більше 500 тис. КУО/см³. Отже, велике значення має допустимий рівень різних груп мікроорганізмів в молоці [24].

Найбільш важливою операцією з догляду за молокопроводною лінією доїльної установки та молочним обладнанням є його промивання. Основне завдання промивання доїльного обладнання – видалення з його внутрішньої поверхні, яка контактує з молоком, різних забруднень (молочних залишків, бруду, бактеріальних скупчень та інших частинок і речовин). Причому, молочна плівка і жир є не тільки сприятливим середовищем для швидкого розмноження бактерій, але і причиною передчасного зносу гумових деталей.

1.2 Аналіз техніко-технологічного забезпечення промивання доїльних установок

1.2.1 Типи доїльних установок і молочно-доїльного обладнання

Усі типи доїльних установок (доїльні установки, в яких доїння відбувається у відра або безпосередньо в бідони; доїльні установки, оснащені молокопроводами; доїльні установки з реєструвальним молокоміром) згідно з ISO 3918 [25], ISO 5707 [26], ISO 6690 [27] представляють собою складну гідравлічну мережу, яка містить у своєму складі кілька типів гідравлічних трактів, які відрізняються за своїми параметрами [28, 29, 30]. До них належать (рис. 1.3):

- молокопроводи, якими рухається потік молочно-повітряної суміші;
- вакуумпроводи з однофазним повітряним потоком;
- молокозбірники (або доїльні відра, бідони, реєструвальні молокоміри), де, завдяки значному обсягу внутрішнього простору, швидкість потоку наближається до нуля і відбувається розділення рідкої і газоподібної фаз (молока та повітря);
- доїльні апарати, в яких здійснюється пульсуючий режим течії як молока, так і повітря, що витрачається на створення пульсацій.

Уся гідравлічна система типової доїльної установки являє собою не герметичну систему з відповідним об'ємом. Перетікання повітря всередину гідравлічної системи пов'язані із [31, 32, 33, 34, 35, 36]:

- витратами повітря на пульсації в доїльних апаратах;
- недостатньою герметичністю між доїльними стаканами і дійками;
- перетіканням повітря в доїльні стакани з відкритим клапаном при надяганні і зняття їх з дійок;
- негерметичністю трубопровідних з'єднань.

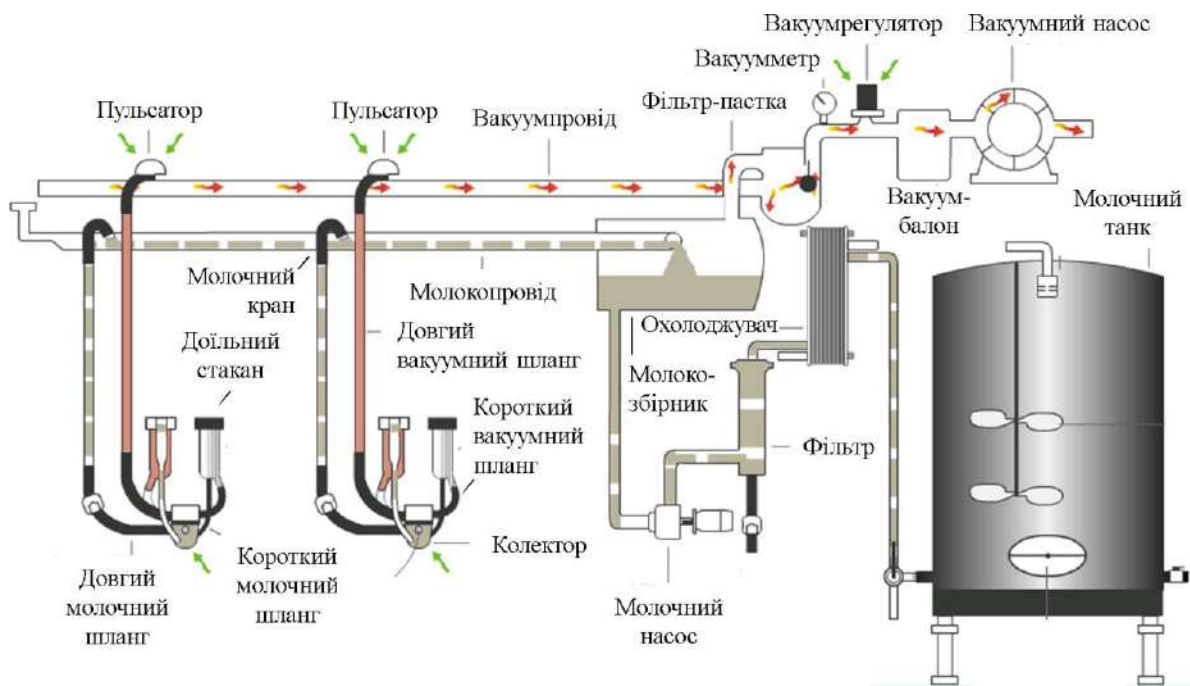


Рисунок 1.3 – Загальна схема доїльної установки

Обладнання для доїння корів з організації виробничого процесу можна розділити на такі категорії: для доїння в стійлах у переносні відра (АД-100Б, ДАС-2Б); для доїння в стійлах через молокопровід (АДМ-8А, УДМ-200); для доїння на пасовищах і майданчиках (УДС-ЗБ, УДЛ-Ф-12, К-Р-10); для доїння в доїльних залах («Тандем», «Ялинка», «Карусель», «Паралель»), для доїння в пересувних доїльних установках (УДП-1; АИД-2; УДИ-1) [37, 38, 39, 40, 41, 42].

У зв'язку з тим, що в теперішній час зазвичай застосовуються доїльні установки для доїння в стійлах через молокопровід і для доїння в доїльних залах, то в подальшому і будемо розглядати їх системи промивання. У загальному вигляді її можна представити, як на рис. 1.4.

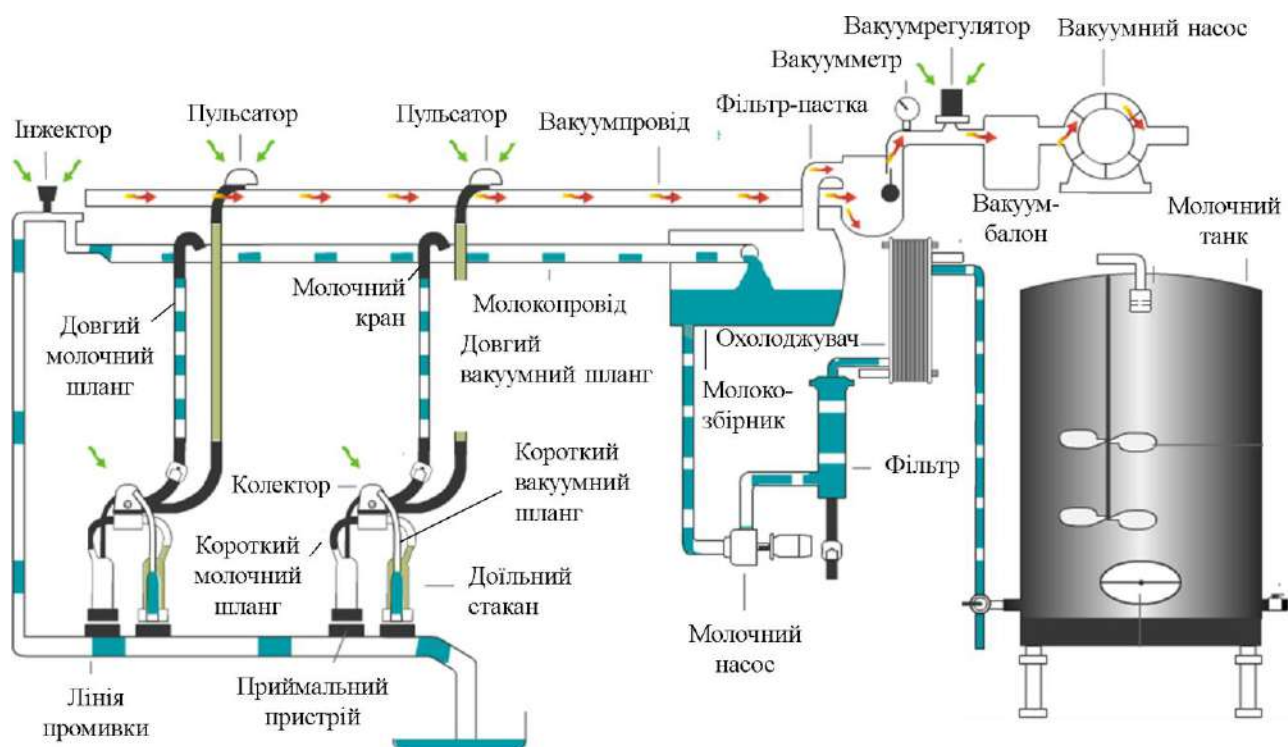


Рисунок 1.4 – Загальна схема системи промивання доїльної установки

Аналізуючи різні технологічні схеми доїння, починаючи від ручного і закінчуючи автоматизованою системою доїння, спостерігається тенденція розвитку молокопровідних систем комунікацій. Сучасні молочні лінії стають все більш герметичними, збільшується їх протяжність, в результаті чого різко зростає площа поверхонь, з якими контактує молоко. Це ускладнює процес промивання, що може призвести до зниження якості одержуваного молока.

Проведений розрахунок [43, 47] показує, що при ручному доїнні площа контакту молока з обладнанням становить всього 7 м², на установках з переносними відрами загальна поверхня, що контактує з молоком становить близько 20 м², на установках для доїння в стійлах через молокопровід – до 100 м², в доїльних залах – до 45 м² (рис. 1.5). У результаті збільшення площі поверхні, що контактує з молоком, зростає можливість бактеріального забруднення молока і відповідно підвищуються витрати ресурсів на миття та очищення молочної лінії.

Як видно з гістограми (рис. 1.5), при співвідношенні рівня автоматизації процесу доїння і площі найменшого контакту обладнання з молоком,

актуальним є використання доїльних залів. Зауважимо, що в дослідженнях [44] було доведено, що на установках з коротким молокопроводом типу «Ялинка», «Тандем», «Паралель» або «Карусель» бактеріальна забрудненість набагато нижча, ніж на установках із стійловим молокопроводом. Таким чином, для проведення ефективного процесу промивання важливо, щоб конструкція доїльної установки мала менш розгалужену молокопровідну лінію із найменшою довжиною.

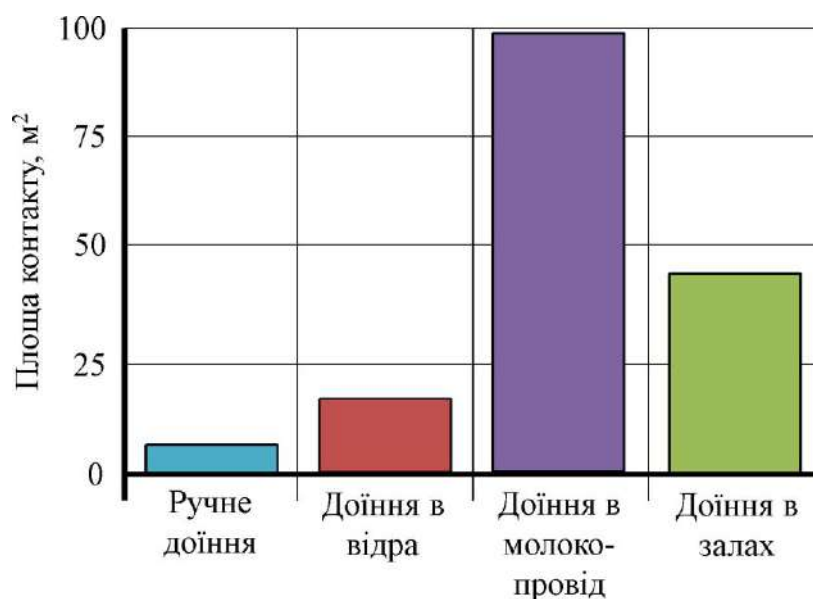


Рисунок 1.5 – Гістограма площі контакту молока з доїльним обладнанням

Відповідно до стандарту ISO 5707 [26] конструкція доїльної установки так само повинна забезпечувати:

- очищення від залишків молока і відкладень на внутрішній поверхні молокопровідної лінії;
- очищення поверхонь і порожнин молокопровідної лінії від залишків мийних і дезінфікуючих засобів;
- зниження бактеріального обсіменіння поверхонь до допустимого рівня.

Вузли та деталі комунікацій доїльної установки, які контактують з молоком, повинні бути виготовлені з матеріалів, призначених для цих цілей. Поверхня, відповідно до стандарту ISO 4288 [45], повинна мати шорсткість

2,5 мкм. Шорсткість поверхні зварних швів не повинна перевищувати 16 мкм. Повинно забезпечуватись повне стікання рідини з усіх частин молокопровідної лінії.

1.2.2 Класифікація системи промивання доїльних установок

Системи промивання, якими комплектуються сучасні доїльні установки, можна класифікувати за способом проходження мийного розчину, за кратністю заповнення молокопровідної системи, за способом утворення пробкового потоку мийного розчину, за автоматизацією технологічного процесу (рис. 1.6).

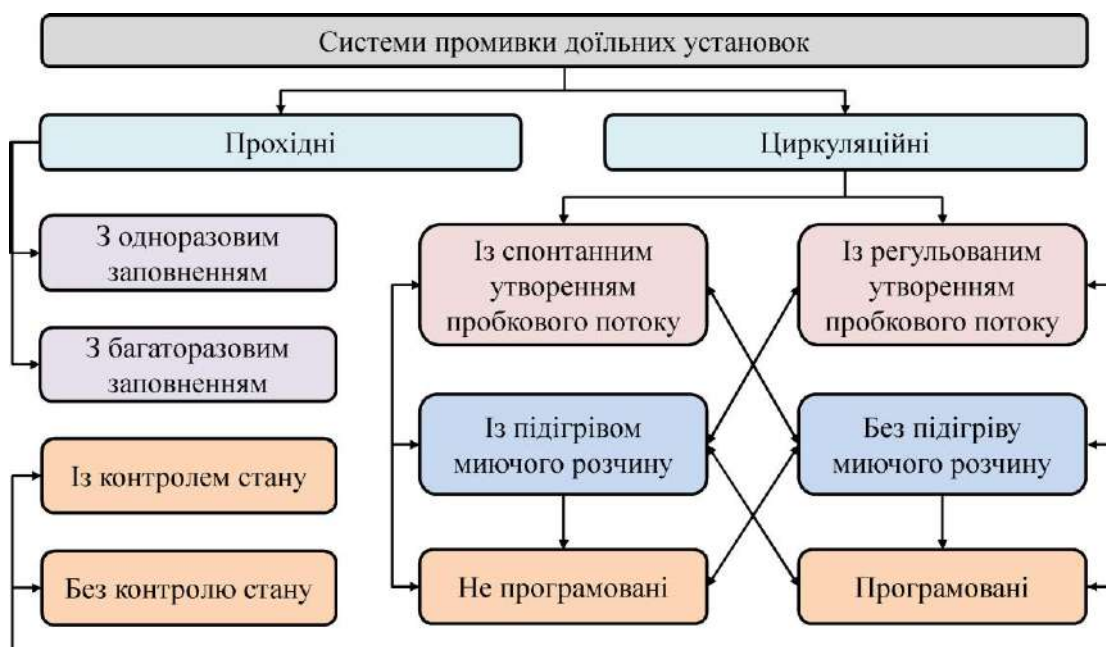


Рисунок 1.6 – Класифікація системи промивання доїльних установок

За способом проходження мийного розчину розрізняють прохідні (методом разового всмоктування) і циркуляційні системи промивання доїльних установок. Прохідний спосіб промивання доїльних установок застосовується перед доїнням при обполіскуванні молокопровідних систем, а також при доїнні у відро. Після доїння при виконанні технологічного процесу промивання доїльних установок з молокопроводом (верхнім або нижнім) використовують циркуляційний спосіб [46].

За кратністю заповнення молокопровідної системи бувають системи промивання з одноразовим і багаторазовим заповненням. Системи промивання з багаторазовим заповненням використовують в основному на доїльних установках з невеликою протяжністю молокопровідних систем, для промивання яких не потрібна велика кількість води.

Для підвищення ефективності циркуляційного промивання застосовуються системи зі спонтанним і регульованим утворенням пробкового потоку мийного розчину. Останні забезпечують зниження питомих витрат води, електроенергії, витрат мийних і дезінфікуючих засобів.

Залежно від виду обладнання, що використовується для доїння, застосовуються програмовані і не програмовані системи промивання. Зазначені системи використовуються при автоматичному промиванні доїльного обладнання. Можливість програмування дозволяє встановлювати певні часові параметри системи промивання та адаптувати її до різних видів доїльних установок.

При промиванні доїльного обладнання використовуються системи із підігрівом і без підігріву мийного розчину. У зимовий період кращим є використання системи із підігрівом, які дозволяють зберегти температуру мийного розчину на необхідному рівні для ефективного промивання доїльної установки. За наявності програмованої системи керування застосовують спеціальні датчики, які визначають стан чистоти молокопровідної лінії доїльної установки.

При промиванні доїльних апаратів практично всі системи промивання передбачають два варіанти виконання промивних стендів: з миючими головками або чашами на кожен доїльний стакан, або загальним резервуаром, куди занурюються доїльні стакани.

Однак на сьогодні зовсім не приділено уваги процесу промивання окремих вузлів доїльних установок, таких як: групові та індивідуальні лічильники молока. Складність їх конструкцій призводить до неякісного очищення внутрішніх поверхонь без повного розбирання і ручного промивання конструктивних елементів.

1.2.3 Аналіз відомих конструкцій систем промивання доїльних установок

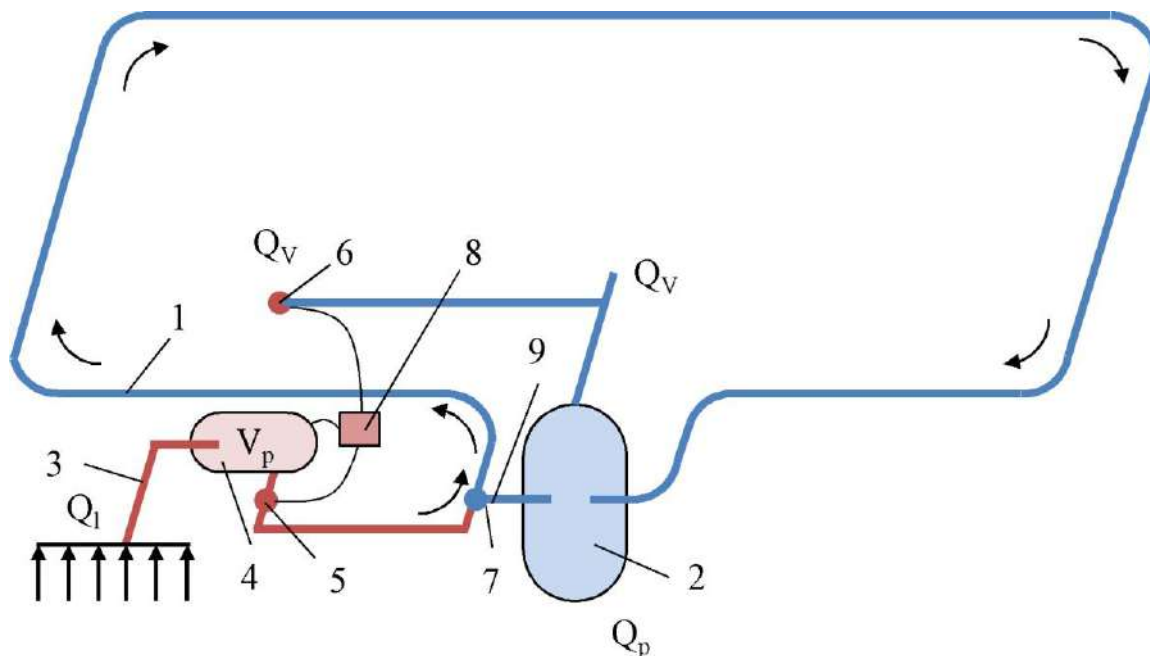
Дослідженням проблеми промивання молокопроводів доїльних установок присвячено багато робіт, зокрема А. М. Жмирко [47], А. І. Пунько [48], Р. А. Мамедова [49, 50, 51, 52, 53], А. С. Корольов [54], В. Б. Матвеев [55], А. П. Палій [56], D. J. Reinemann [57].

У своїй роботі А. М. Жмирко [47] розглядає процес видалення частинок молочного жиру під дією сил дотичного тертя, що долають адгезійне зчеплення молочного жиру з поверхнею молокопровідної лінії. Вченими [58] більш повно проведені дослідження структури плівки молочних забруднень.

Кірсанов В. В. [59] у своїй роботі для створення пробкового режиму течії рідини при промиванні пропонує спосіб промивання з попередньою акумуляцією мийної рідини в ємності, розташованій між промивним трубопроводом і молокопроводом (рис. 1.7).

Схема працює в такий спосіб: рідина під вакуумом засмоктується доїльними апаратами з пристрою промивання в промивний трубопровід 3 і далі надходить в резервуар 4, який підключений до вакууму через керований клапан 6, при цьому нижній клапан 5 закритий. Внаслідок заповнення резервуару на величину V_p спрацьовує верхній датчик рівня, при цьому клапан 6 закривається, а клапан 5 відкривається і рідина з великою швидкістю починає надходити у молокопровід. Оскільки розподільчий кран закритий, то основний потік спрямовується в за кільцьований молокопровід, а менший (близько 5 %) надходить по шлангу 9 в молокозбірник 2. Як тільки рівень рідини впаде в резервуарі 4 до нижнього рівня, клапан 5 закривається, а клапан 6 відкривається. У баку 4 знову створюється розрідження і рідина з високою інтенсивністю засмоктується в нього. Молокопроводом рідина рухається під тиском з високою швидкістю при повністю заповненому перерізі труби. При цьому регульований об'єм рідини в баку V_p повинен приблизно дорівнювати

об'єму молокозбірника, для того, щоб він не переповнився, оскільки миттєва подача рідини у молокопровід буде значно більшою, ніж пропускна здатність молочного насосу молокозбірника 2.

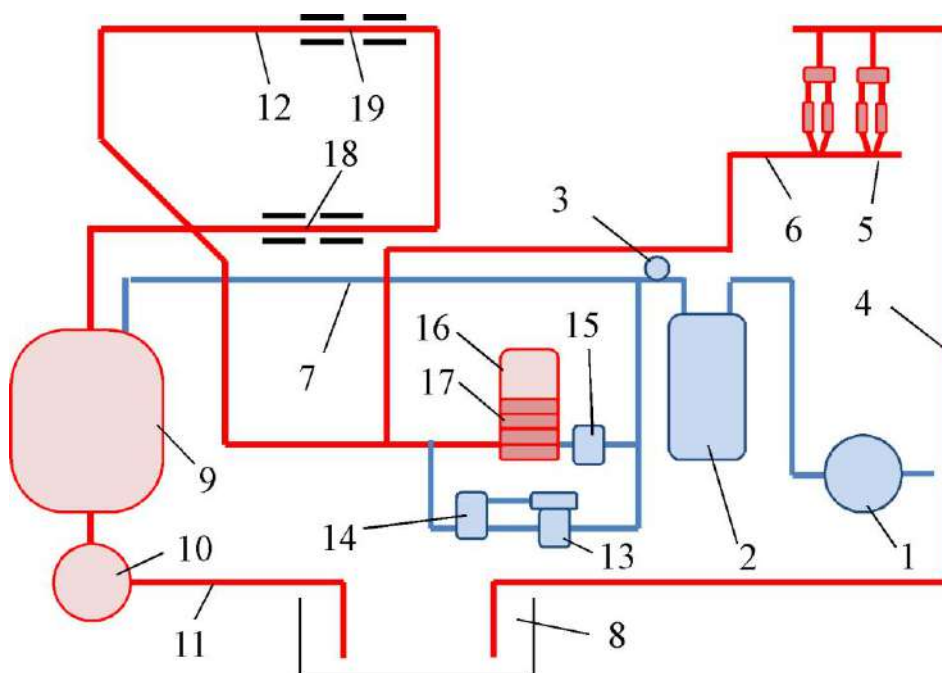


1 – молокопровід; 2 – молокозбірник; 3 – промивний трубопровід; 4 – бак;
5,6 – керовані вентиля; 7 – триходовий кран; 8 – блок керування; 9 – шланг

Рисунок 1.7 – Схема циркуляційного промивання молокопроводу з попередньої акумуляцією промивної рідини [59]

Недоліком поданої конструкції є перевитрати мийного розчину і нездатність контролювати гідродинамічний режим руху повітряної пробки, що може спричинити достатньо сильний гідравлічний удар, який може зруйнувати елементи молокопровідної лінії.

Для інтенсифікації процесу промивання молокопроводу від забруднень у своїй роботі Жмирко А.М. [47], пропонує під час циркуляційного промивання та дезінфекції періодично додатково подавати повітря за допомогою пульсопідсилювача на базі колектора доїльного апарату «Волга» і пружні пробки для механічного очищення внутрішньої поверхні молокопроводу (рис. 1.8) [60, 61, 62, 63, 64, 65, 66, 67, 68].



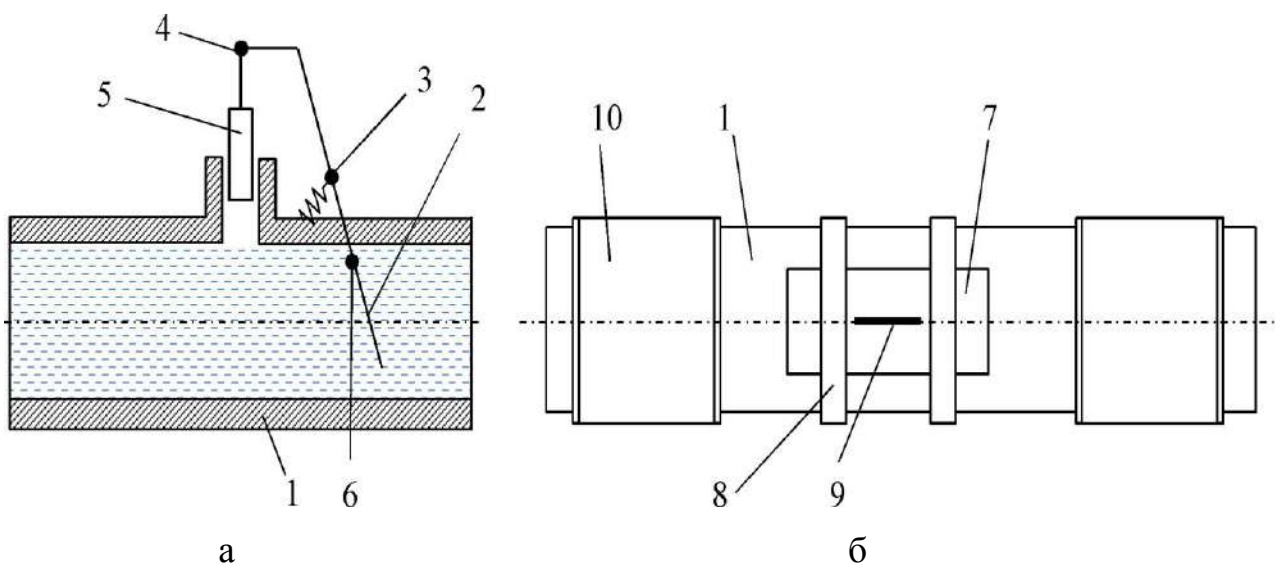
1 – вакуумний насос; 2 – вакуумний балон; 3 – вакуумметр; 4 – трубопровід;
 5 – доїльні апарати; 6 – колекторна труба; 7 – вакуумпровід; 8 – ванна;
 9 – молокоприймальний бак; 10 – молочний насос; 11 – зливний трубопровід;
 12 – молокопровід; 13, 15 – пульсатори; 14 – пульсопідсилювач; 16 – магазин-
 живильник; 17 – пружинні пробки; 18 – досліджувана вставка молокопроводу;
 19 – прозора молокопровідна вставка

Рисунок 1.8 – Схема установки для дослідження режимів миття молокопроводу [47]

Зазначений спосіб створення пробкового потоку в молокопровідній системі заслуговує на увагу, але його використання під час промивання молокопроводів різної конфігурації не завжди доцільне. Як показала практика, еластичні піжі використовуються тільки для видалення залишків молока або миючої рідини, і не можуть використовуватися для механічного видалення забруднень у молокопроводі. Окрім цього в зазначеній конструкції системи промивання не можливо автоматично регулювати режимні параметри повітряних пробок, що може призвести до неякісного очищення поверхонь молокопровідних ліній або до значного підвищення тиску і утворення

гідравлічного удару достатнього зусилля для руйнування стінок молокопроводу. Також в системі встановлено лише один інжектор повітряних пробок, що унеможлиблює процес очищення внутрішніх поверхонь на великій відстані від нього.

Палій А. П. запропонував пристрій для промивання молокопровідних систем доїльних установок [69, 70, 71], який складається зі штанги з пружиною 3, яка провертається на осі 6. На кінцях штанги 3 розташовані напірний клапан 2 промивання мийною рідиною та повітряний клапан 5, які з'єднані з штангою 3 за допомогою шарнірів 4. Штанга 3 утримується у визначеному положенні пружинним елементом (рис. 1.9, а). Також Палій А. П. зазначає, що у виробничих умовах для визначення чистоти доїльно-молочного обладнання можна використовувати пристрій для визначення санітарно-гігієнічного стану доїльного обладнання (рис. 1.9, б) [72, 73, 74].



- а – пристрій для промивання молокопровідних систем доїльних установок;
 б – пристрій для визначення санітарно-гігієнічного стану доїльного обладнання;
 1 – молокопровід; 2 – напірний клапан; 3 – штанга; 4 – шарнір; 5 – повітряний клапан; 6 – вісь; 7 – пробка; 8 – хомути; 9 – пластина; 10 – муфта

Рисунок 1.9 – Схеми технічних рішень елементів системи промивання доїльних установок [69-74]

До недоліків зазначеного обладнання слід віднести відсутність за контролем параметрів турбулентного руху мийного засобу молокопровідною системою. А недоліком пристрою для визначення санітарно-гігієнічного стану є те, що він не містить конкретних кроків щодо визначення ефективності санітарної обробки молокопроводу загалом і не може бути використаний для оперативного визначення стану забрудненості під час проведення технологічної операції промивання.

На особливу увагу заслуговують автоматичні системи циркуляційного промивання доїльних установок. Відповідно до стандарту ISO 5707 всі доїльні установки повинні бути оснащені автоматом промивки [26].

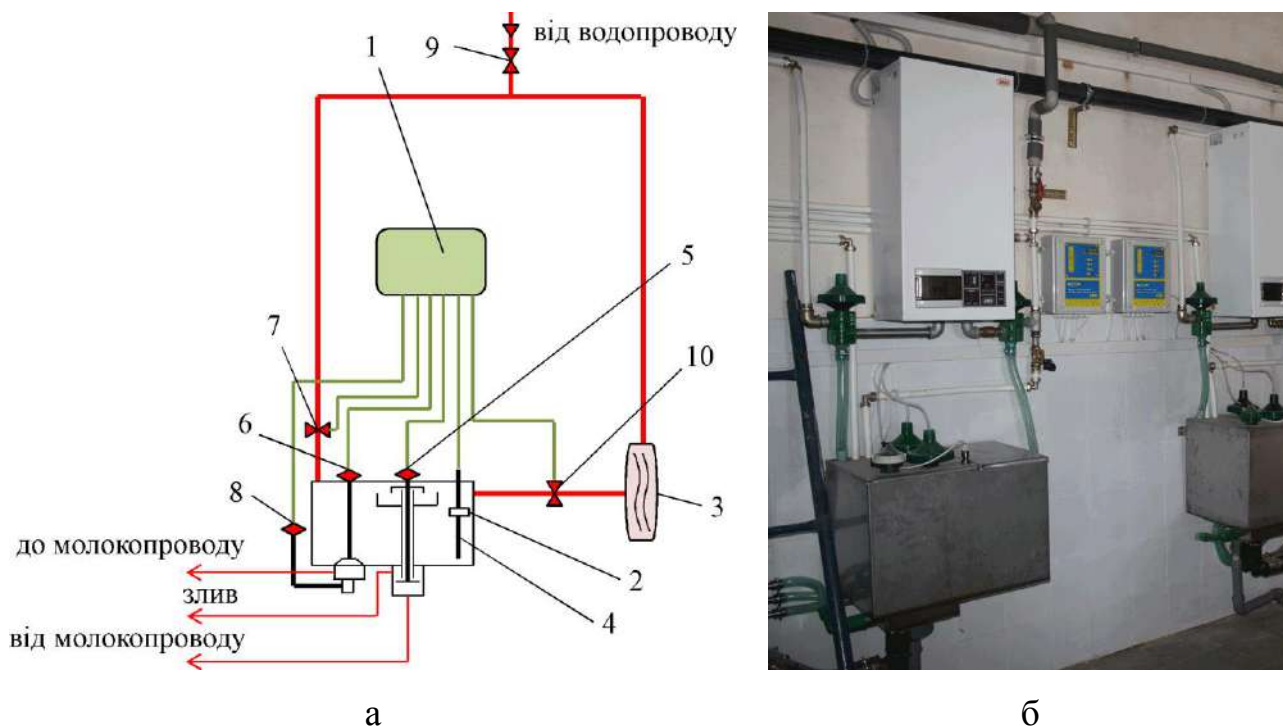
Незважаючи на конструктивні відмінності, автоматичні системи промивання різних фірм мають такі основні блоки: програмний, блок виконавчих органів, дозувальний пристрій і резервуар для рідини. Можлива додаткова комплектація нагрівачем. Виходячи з можливості блочного виконання системи промивання, ряд фірм на основі базової моделі поставляє різні автоматичні системи промивання.

Основним завданням, яке ставиться при вдосконаленні систем промивання молокопровідних систем, – це ресурсозбереження, насамперед зменшення споживання витрати повітря, гарячої води, енергії і експлуатаційних витрат.

Різноманітність умов експлуатації і типів доїльного обладнання, з одного боку, а з іншого жорсткі вимоги до якості промивання, призвели до необхідності відмови від жорстких програм і до створення програмованих автоматів промивки. Останні дозволяють залежно від умов змінювати програму промивання, тривалість циклів, здійснювати моніторинг за виконанням процесу, своєчасно сигналізувати про збої.

Відомий автомат промивки АП-03 (БУАП-03), виробництва ТДВ «Брацлав» [75, 76] складається з баку, поплавка, датчика рівня мийного розчину, клапана циркуляції-зливу, клапана всмоктування рідини у

молокопровід, трубопроводу, електромагнітного клапана пуску холодної води, електромагнітного клапана пуску гарячої води, водонагрівача, електромагнітного клапана пуску концентрату мийного розчину, ємності, контрольного датчика температури та блока керування (рис. 1.10).



- 1 – блок керування; 2 – поплавок; 3 – водонагрівач; 4 – датчик рівня мийного розчину; 5 – клапан циркуляції-зливу; 6 – клапан всмоктування рідини на молокопровід баку; 7 – електромагнітний клапан пуску холодної води; 8 – клапан пуску повітря; 9 – кран підключення води від водопроводу; 10 – електромагнітний клапан пуску гарячої води

Рисунок 1.10 – Схема (а) і загальний вигляд (б) автомата промивки АП-03 (БУАП-03), виробництва ТДВ «Брацлав» [75, 76]

До недоліків зазначеного обладнання слід віднести неможливість контролювати стан забрудненості молокопровідної лінії, вакуумметричного тиску, температури і відповідно до цього змінювати режимні параметри його роботи, що призводить до недостатньої якості виконання технологічної операції промивання.

Для вирішення проблеми підвищення якості промивання і ресурсозбереження значну увагу приділено створенню керованого пробкового потоку. Це дозволяє, по-перше, забезпечити високу якість промивання при великих довжинах і діаметрах молокопроводів і, по-друге, значно економити об'єм циркулюючої води і витрат хімічних реагентів [77].

Зазначений ресурсозберігаючий режим використаний фірмою DeLaval в автоматах промивки С100Е (рис. 1.11), фірмою GEA Farm Technologies в автоматі промивки SineTherm (рис. 1.12) та ін. [78, 79]. Також інжектування повітрям для ефективного циркуляційного промивання доїльної установки застосовується в автоматах MiniWash фірми PANAZOO і TOP WASH фірми InterPuls (рис. 1.13) [80, 81]. Зокрема, фірма SAC пропонує системи промивання зі спонтанним утворенням рідинних пробок, і не рекомендує використовувати пристрій повітряної пульсації Uni-Air-Pulse, вважаючи, що це не впливає на підвищення ефективності промивання доїльного обладнання [82]. Однак в режимі пробкового промивання збільшуються додаткові витрати повітря, що призводять до збільшення навантаження на вакуумні насоси і як наслідок збільшення енерговитрат.

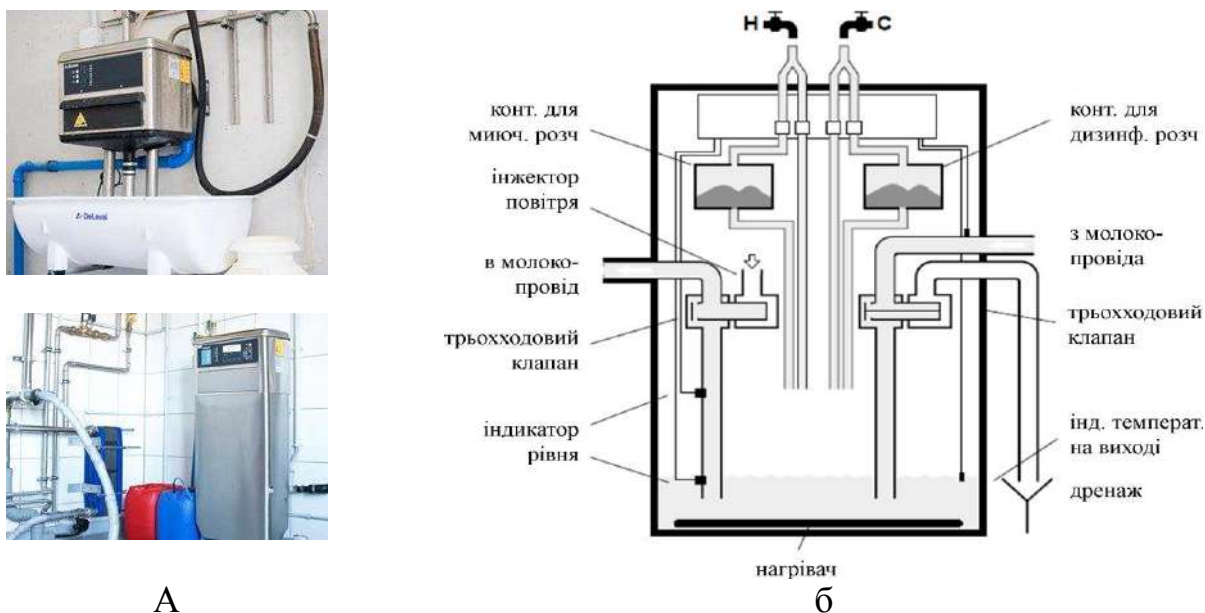
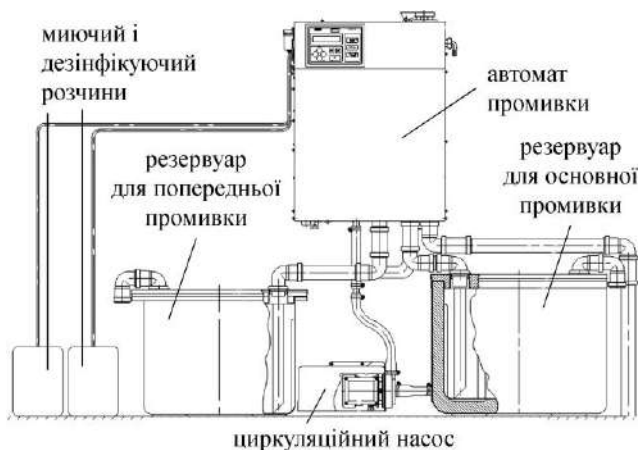


Рисунок 1.11 – Загальний вигляд (а) і схема (б) автомата промивки С100 виробництва DeLaval [79]

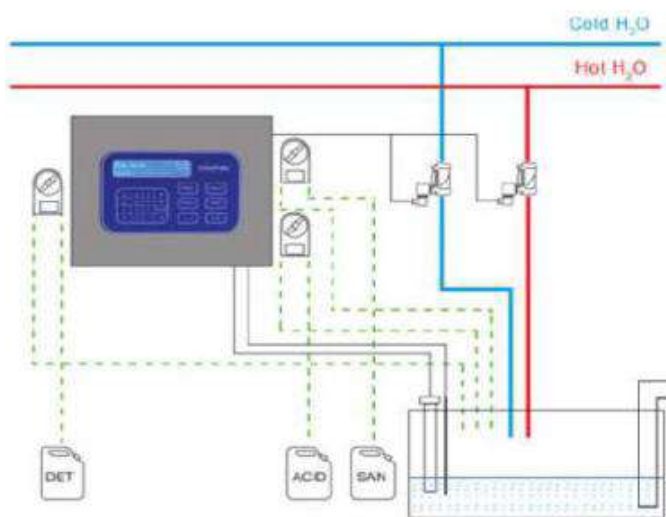


а



б

Рисунок 1.12 – Схема (а) і загальний вигляд (б) автомата промивки SineTherm фірми GEA Farm Technologies [78]



а



б

Рисунок 1.13 – Схема (а) і загальний вигляд (б) автомата промивки TOP WASH фірми InterPuls [81]

З таблиці 1.2 видно, що практично всі фірми відмовилися від малоємних систем з багаторазовим заповненням баків і перейшли до систем з одноразовим заповненням. Залежно від розмірів доїльної установки автомат промивки комплектують баками різної ємності.

Таблиця 1.2 – Порівняльна характеристика автоматів промивки

Функції	Виробник	DeLaval (C100)	GEA Farm Tech. (SineThem)	InterPuls (TOP WASH)	PANAZOO (MiniWash)	Брацлав (АП-03)
Розташування блоку управління		в корпусі	в корпусі	виносний	в корпусі	виносний
Керування системою промивання		мікро-процесор	мікропроцесор/ ел. мех.	мікропроцесор/ ел. мех.	мікро-процесор	мікро-процесор
Керування клапаном злив-циркуляція		роздільне	суміщене	суміщене	суміщене	роздільне
Розташування клапана впускання повітря		в корпусі	виносної	-	виносної	в корпусі
Наявність водонагрівача		є	є	є	є	є
Наявність інжекторів		немає	є	є	є	немає
Створення керованих пробок		немає	не керовані	не керовані	не керовані	немає
Спосіб дозування мийних засобів		автомат	напівавтомат/ автомат	ручний/ напівавтомат/ автомат	ручний/ напівавтомат/автомат	ручний/ напівавтомат
Система регенерації мийних речовин		немає	є	немає	немає	немає
Об'єм резервуара, л		40; 80; 160	20; 70	35; 70; 160	70	160

1.3 Аналіз режимних параметрів техніко-технологічного забезпечення промивання доїльних установок

Аналіз літературних джерел показав, що незважаючи на відмінність у кількісних характеристиках процесу промивання доїльних установок (температура, тривалість) в цілому за складом операцій і послідовності їх виконання на сьогодні існує єдина думка, а саме [34, 37, 48, 49]:

- попереднє ополіскування і видалення залишків молока теплою водою (30-48 °C) протягом 5-10 хв.;

- приготування мийних лужних розчинів в гарячій воді температурою 60-70 °C і миття протягом 10-30 хв.;

- ополіскування і видалення залишків мийного розчину теплою або гарячою водою протягом 5-10 хв.;

- промивання 1-2 рази в тиждень кислотними миючими розчинами;

- промивання системи перед початком роботи гарячою водою і дезінфікуючим розчином;

- обробку комунікацій кислотними розчинами з температурою 60-70 °C для видалення молочного каменю здійснюють після попереднього ополіскування, проміжне ополіскування гарячою водою при температурі 70 °C

протягом 5 хв., після чого миють лужним розчином.

Технологічний режим процесу промивання молокопровідних систем визначає сукупність в основному таких показників, як:

- швидкість мийного розчину при промиванні;
- температура розчину;
- концентрація мийних засобів;
- тривалість промивання.

Ефективне промивання можливе при швидкості руху мийного розчину, достатній для відривання і виносу потоком рідини частинок бруду і відкладень. При необґрунтовано великій швидкості різко підвищуються енергетичні витрати на перекачування розчину. Швидкість рідини при промиванні доїльних установок залежить від величини розрідження, що створюється вакуумними установками, від гідравлічних параметрів ліній циркуляції, від подачі перекачувальних молочних насосів.

При цьому величина швидкості, яка необхідна для відривання частинок, залежить від розміру і щільності частинки, її форми, шорсткості очищуваної поверхні та властивостей мийної рідини.

Слід зазначити, що стосовно швидкості руху мийного розчину, що відповідає найбільш ефективному технологічному процесу промивання дослідники не дійшли до єдиної думки: швидкість в різних дослідженнях варіюється в межах 0,5-1,5 м/с [136, 83, 84, 85].

З метою інтенсифікації перемішування розчину, що значно впливає на швидкість видалення забруднень, пропонується встановлювати в молокопровідних системах різноманітні пристрої створення турбулентного потоку рідини [86]. Дослідженнями доведено, що висока якість очищення може бути досягнута при розвиненому турбулентному режимі течії мийного розчину (при $Re > 10^4-10^5$) [15], оскільки в цьому випадку створюються найбільш сприятливі умови для механічного впливу потоку на частинки забруднення.

Якість промивання молокопровідних систем доїльних установок прямо

пропорційна температурі мийного розчину [133]. З підвищенням температури зростає фізико-хімічна активність мийного розчину, знижується енергія адгезії на межі поділу фаз (мийний розчин – забруднення), зменшується кінематична в'язкість мийного розчину, що підсилює турбулентність. Ефективність впливу мийного засобу на забруднення при інших рівних умовах безпосередньо залежить від температури розчину. Однак, її підвищення понад 70°C не призводить до помітного збільшення мийної здатності [87]. Тому температурний режим наблизили саме до цього показника.

Радикальним способом підтримки необхідного санітарно-гігієнічного стану молочно - доїльного обладнання є застосування високоефективних засобів санітарної обробки. Всі санітарні засоби за своїми властивостями і призначенням можна розділити на три групи [88, 89, 90, 91, 92, 93]: кислотні, лужні і дезінфікуючі миючі засоби.

При вивченні тривалості промивання встановлено, що при збільшенні часу обробки якість очищення покращується [124, 125]. Так, дослідники зазначають, що циркуляційне промивання молокопровідних систем повинно тривати 5-40 хв. залежно від матеріалів, з яких виготовлені їх елементи.

1.4 Теоретичні передумови дослідження техніко-технологічного забезпечення промивання доїльних установок

Основи теорії мийної дії і технології очищення розроблені П. А. Ребиндером [94]. Дослідженнями проблеми промивання доїльних установок і процесів руху двофазних середовищ (рідина-повітря) займалися такі вчені, як: Цой Ю. А., Карташов Л. П., Ведищев С. М., Ушаков Ю. А., Харьков С. В., Корольов А. С., Матвеев В.Б., Кирсанов В. В., Жмирко А. М., Пунько А. І., Остроухов А. І., Мамедова Р. А., Палій А. П., Фененко А. І., Дмитрів В. Т., Шевченко І. А., Алієв Е. Б., Дудін В. Ю., Reinemann, D. J. та ін.

Для визначення якості очищення обладнання від забруднень існують різні способи: візуальний контроль [95, 96]; з використанням фотоелектричних

приладів [97, 98, 99, 100]; засновані на вимірюванні залишкової радіоактивності забруднення, попередньо нанесеного на поверхню, що очищається перед промиванням [101]; вагові методи [102], бактеріальні методи [103, 104, 105].

Роботи, спрямовані на підвищення якості санітарної обробки поверхонь деталей, що контактують з молоком, можна класифікувати за такими основними напрямками:

– розробка і застосування при санітарній обробці молокопровідних систем нових мийних і дезінфікуючих засобів [106, 107, 108, 109, 110, 111];

– обґрунтування найбільш ефективних параметрів технологічного режиму процесу промивання молокопровідних систем доїльних установок (швидкість, режим течії мийного розчину, його температура, концентрація мийних засобів, тривалість циркуляції розчину) [112, 113, 114];

– розробка технічних рішень, спрямованих на вдосконалення процесу промивання молокопровідних систем доїльних установок [115, 116, 117, 118, 119, 120, 121].

Розробка і застосування нових мийних засобів і композицій, як правило, пов'язані зі збільшенням їх хімічної активності. Підвищена агресивність мийних засобів в сукупності з високою температурою мийних розчинів може впливати на оброблювану поверхню. Особливо це впливає на гумові і пластмасові деталі доїльного обладнання.

Харьковим С. В. більш детально проведені дослідження структури плівки молочних забруднень [86]. Він зазначає, що найбільш складним є процес видалення окремих жирових кульок і олійних зерен невеликого діаметра у ламінарному потоці мийного розчину. Тому Харьков С. В. розглядає процес відривання жирової частинки з поверхні обладнання із урахуванням сил, зумовлених особливостями течії граничної ділянки і ламінарного підшару турбулентного потоку:

$$\delta_{\text{л.п.}} = \frac{30v_p}{V_p \sqrt{\lambda}}, \quad (1.1)$$

де $\delta_{л.п.}$ – товщина ламінарного підшару, м;
 λ – коефіцієнт гідравлічного тертя:

$$\lambda = \frac{0,3164}{\left(\frac{V_p D}{\nu_p}\right)^{0,25}}, \quad (1.2)$$

V_p – середня швидкість руху потоку, м/с;

D – внутрішній діаметр молокопроводу, м;

ν_p – кінематична в'язкість шару забруднень, м²/с.

Однак ця модель побудована на лінійних закономірностях, що не точно описує зазначений процес.

Паніним О. О. в результаті теоретичних досліджень [122, 123] обґрунтовано спосіб ефективного видалення забруднень із внутрішньої поверхні молокопроводу, завдяки створенню пробкового режиму руху мийного розчину. Однак завданням зазначених досліджень було лише визначення умови, при якій відбудеться відокремлення жирової частки від поверхні молокопроводу під дією енергії потоку мийного розчину, що не дає повного уявлення про фізичні явища досліджуваного процесу:

$$F\Delta a > G_{1-3}(1 - \cos\theta)\Delta f + W_0, \quad (1.3)$$

де F – дотична сила тертя, що діє на кульку з боку потоку рідини, Н;

Δa – шлях зсуву жирового кульки, м;

G_{1-3} – міжфазна енергія на границі «молочний жир – мийний розчин», Дж/м;

θ – крайовий кут змочування, °;

Δf – приріст площі контакту жирового кульки з поверхнею молочного обладнання на шляху зрушення, м;

W_0 – енергія дисперсії, Дж.

Також Паніним О. О. при проведенні лабораторних і виробничих випробувань були отримані дані про час повного промивання внутрішньої поверхні молокопроводу (120-295 с) залежно від різного ступеня забруднення [124, 125].

У результаті теоретичних досліджень Корольовим А. С. [126, 127] складена математична модель системи «мийний розчин – елемент забруднення – контактна поверхня», яка дозволила виявити умови якісного очищення деталей молочно-доїльного обладнання розчинами різних мийних засобів при різних режимах течії:

$$V_n > \frac{\left(29,3KG_{1-3} \cos \frac{\theta}{2} \sin \theta\right)^{0,57}}{\left(\text{pr}_ж\right)^{0,5} \left(\Delta r + \frac{68v}{Vnd}\right)^{0,125}} \left(12 \sin^4 \frac{\theta}{2} - 8 \sin^2 \frac{\theta}{2}\right)^{0,17}, \quad (1.4)$$

де G_{1-3} – міжфазна енергія на границі «молочний жир – мийний розчин», Дж/м;

θ – крайовий кут змочування;

K – коефіцієнт, що враховує характер взаємодії елемента забруднення з поверхнею обладнання;

$r_ж$ – радіус жирової кульки в молоці, м;

Δr – відносна шорсткість поверхні;

d – діаметр вігнутреннього перетину молокопроводу, м;

v – коефіцієнт кінематичної в'язкості розчину, $\text{м}^2/\text{с}$.

Машошин В. Л. [128] визначив рівняння швидкості накопичення забруднень у масі розчину, яка залежить від властивостей самого середовища і визначається швидкістю утворення нової поверхні розділу фаз «розчин-забруднення»:

$$\frac{dC}{d\tau} = f\left(\frac{D}{U_0 L}; \frac{l_i}{L}; \frac{w}{U}; \frac{D\tau}{L^2}\right), \quad (1.5)$$

де D – коефіцієнт утворення нової поверхні розділу фаз, м/с;

$\frac{dC}{d\tau}$ – швидкість зміни концентрації забруднення, с^{-1} ;

τ – час, с;

l_i – розмір в одному напрямку, м;

w – швидкість в будь-якому місці перетину потоку середовища, м/с;

L – характерний розмір, м;

U – об'ємна швидкість течії потоку, м³/с;

C – гранична концентрація.

За результатами теоретичних досліджень Ушаков Ю. А. [129, 127, 130, 131, 132] встановив математичну модель просторово-часових картин рухів і взаємодій гідродинамічних потоків у проточних частинах доїльних установок, яка базується на основному принципі динаміки з чисельним рішенням системи рівнянь Нав'є-Стокса і двох додаткових рівнянь, що описують перенос кінетичної енергії турбулентності і швидкості її дисипації:

$$m_p \frac{d\bar{v}_p}{dt} = 3\pi\mu d C_{cov} (\bar{v}_f - \bar{v}_p) + \frac{\pi d^3 \rho_f}{6} \frac{d\bar{v}_f}{dt} + \frac{\pi d^3 \rho_f}{12} \left(\frac{d\bar{v}_f}{dt} - \frac{d\bar{v}_p}{dt} \right) + F_e - \frac{\pi d^3}{6} (\rho_p - \rho_f) \bar{\omega} \times (\bar{\omega} \times \bar{r}) - \frac{\pi d^3 \rho_p}{3} (\bar{\omega} \times \bar{v}_p), \quad (1.6)$$

де m_p – маса частинки, кг;

d – діаметр частинки, м;

V – швидкість, м/с;

μ – динамічна в'язкість речовини основної фази, Па·с;

C_{cov} – коефіцієнт в'язкого опору;

θ – кутова швидкість обертання, рад/с;

r – радіус-вектора (при розгляді руху у відносній системі відліку), м.

Індекс p відноситься до частинки, індекс f до речовини основної фази.

Однак ця модель не дозволяє повністю вирішувати завдання формування поверхонь, взаємодіючих з молоком і мийним розчином з урахуванням взаємодії частинок між собою і з поверхнями молочно-доїльного обладнання.

Остроуховим А. І. [133, 134, 135] обґрунтовано теоретичну модель процесу очищення від білково-жирових забруднень лужними мийними розчинами як термодинамічного рівноважного фізико-хімічного процесу. Науковцем виведено формули для визначення константи рівноваги (K) і вільної енергії Гіббса (ΔG) процесу через коефіцієнт очищення (k):

$$\Delta G = -RT \ln \frac{k^2(\varphi_1 M_1 + \varphi_2 M_2)}{(1-k)(CV(\omega_1 + \omega_2))}, \quad (1.7)$$

де C – концентрація мийного засобу, г/л;

V – об'єм мийного розчину, л;

ω – масова частка поверхнево-активних речовин в мийному засобі;

φ_1 і φ_2 – питомі масові частки поверхнево-активних речовин в мийному засобі;

M_1 і M_2 – молекулярні маси поверхнево-активних речовин, г/моль.

Матвеевим В. Ю. [136, 137] доведено, що основними факторами інтенсифікації режимів промивання є швидкість руху і температура мийного розчину. Як зазначає науковець, для отримання необхідної пробкової структури руху газорідинної суміші в молокопроводі, необхідно через певні проміжки часу інжектувати відповідний обсяг повітря, який визначається за певною залежністю. Однак у зазначених дослідженнях не враховано явище створення гідравлічного удару в молокопровідній системі при періодичному інжектуванні повітря.

Розробка технічних засобів для санітарної обробки доїльних установок, як правило, пов'язана з удосконаленням окремих вузлів систем промивання і створенням нових промивних стендів для доїльного обладнання [74, 117, 118, 119, 138, 139].

1.5 Аналіз моделей переміщення двофазного мийного розчину молокопровідною лінією доїльної установки

Мийний розчин у процесі переміщення молокопровідною лінією доїльної установки можна представити як двофазне середовище, першою фазою якого є рідина, а другою – повітря. Для подальших теоретичних досліджень вищезазначеного процесу використаємо відомий фізико-математичний апарат.

Математичний апарат руху двофазного мийного розчину молокопровідною лінією оснований на таких законах фізики: принцип

суперпозиції сил і, як наслідок, тисків, неперервність течії, закони збереження мас, імпульсу і енергії. В основу теоретичних досліджень покладені методи диференційного та інтегрального числення.

Рух двофазного мийного розчину молокопровідною лінією розглянемо на основі узагальненої схеми, яку показано на рис. 1.14. Повітря і мийний розчин проходять через молокопровідну лінію, яка має постійну площу поперечного перерізу. Вони утворюють повітряну фазову швидкість u_g нормальної до повітряної ділянки A_g і швидкість рідини u_f нормальної до рідинної ділянки A_f . Тому повна площа перерізу становить $A = A_g + A_f$. Для подальших розрахунків розглянемо елементарну довжину молокопровідної лінії dz в момент часу dt , яка нахилена на кут θ до горизонту.

Приймаємо u_g , u_f , A_g і A_f постійними. Згідно з принципом суперпозиції сил і, як наслідок, тисків загальний перепад тиску (загальний градієнт статичного тиску) становить [140, 141, 142, 143, 144]

$$\left(\frac{dp}{dz}\right) = \left(\frac{dp}{dz}\right)_F + \left(\frac{dp}{dz}\right)_a + \left(\frac{dp}{dz}\right)_z, \quad (1.8)$$

де $\left(\frac{dp}{dz}\right)_F$ – фрикційний перепад тиску, Па/м;

$\left(\frac{dp}{dz}\right)_a$ – перепад тиску сил інерції, Па/м;

$\left(\frac{dp}{dz}\right)_g$ – гравітаційний перепад тиску, Па/м.

Силу тертя, що діє на кожну фазу можна подати у вигляді [145]

$$(dF_g + S) = -A_g \left(\frac{dp}{dz}\right)_{Fg} dz, \quad (dF_f - S) = -A_f \left(\frac{dp}{dz}\right)_{Ff} dz, \quad dF_g + dF_f = -A \left(\frac{dp}{dz}\right)_F dz, \quad (1.9)$$

де індекси «g» і «f» належать до повітря і рідини відповідно;

F – сила тертя, Н;

A – площа поперечного перерізу ділянки, м²;

z – координата вздовж молокопровідної лінії, м;

p – тиск, Па.

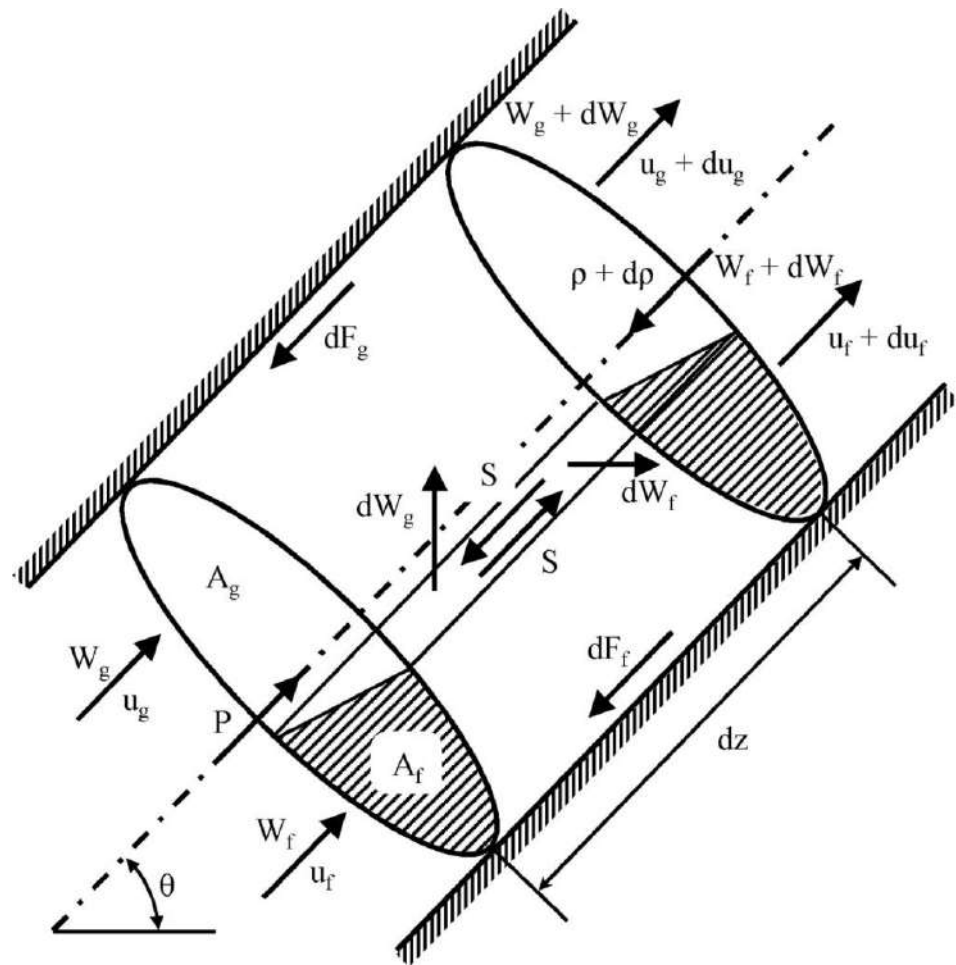


Рисунок 1.14 – Узагальнена схема руху двофазного мийного розчину молокопровідною лінією [140]

Падіння тиску сил інерції можна записати за такою залежністю [146, 147]:

$$-\left(\frac{dp}{dz}\right)_a = \frac{1}{A} \frac{d}{dz} (W_g u_g + W_f u_f) = G^2 \frac{d}{dz} \left[\frac{x^2 v_g}{\alpha} + \frac{(1-x)^2 v_f}{1-\alpha} \right], \quad (1.10)$$

де W – масові витрати фази, кг/с:

$$W_g = GAx, \quad W_f = GA(1-x), \quad (1.11)$$

G – масова швидкість фази, кг/(м²·с):

$$G = \rho u = \frac{u}{v}, \quad (1.12)$$

ρ – густина фази, кг/м³;

u – швидкість фази, м/с;

ν – питомий об'єм фази, м³/кг;

α – частка повітря в ділянці молокопровідної лінії:

$$\alpha = \frac{A_g}{A} \text{ і } (1 - \alpha) = \frac{A_f}{A}, \quad (1.13)$$

x – масова частка повітря в ділянці:

$$x = \frac{W_g}{W} = \frac{W_g}{W_g + W_f} \text{ і } (1 - x) = \frac{W_f}{W_g + W_f}. \quad (1.14)$$

Гравітаційний перепад тиску визначається за формулою

$$-\left(\frac{dp}{dz}\right)_g = -g \sin \theta \left[\frac{A_g}{A} \rho_g + \frac{A_f}{A} \rho_f \right] = -g \sin \theta [\alpha \rho_g + (1 - \alpha) \rho_f], \quad (1.15)$$

де g – прискорення вільного падіння, м/с²;

θ – кут нахилу молокопровідної лінії щодо горизонту, град.

Надалі розглянемо моделі течії двофазного мийного розчину молокопровідною лінією.

Варто підкреслити, що для гомогенної моделі фрикційна складова була визначена через силу третя, яку можна подати у вигляді [148. 149]

$$-\left(\frac{dp}{dz}\right)_F = -\left(\frac{dp}{dz}\right)_{F0} \left[1 + x \frac{\nu_{fg}}{\nu_f} \right], \quad (1.16)$$

де $-\left(\frac{dp}{dz}\right)_{F0}$ – градієнт тиску третя, розрахований з рівняння Фаннінга для

сумарного двофазного потоку, прийнятий для потоку рідини:

$$-\left(\frac{dp}{dz}\right)_{F0} = \frac{2f_{F0} G^2 \nu_f}{D}, \quad (1.17)$$

f_{F0} – коефіцієнт третя, який визначається як функція числа Рейнольдса ($Re = GD/\mu$) і відносної шорсткості труби (ϵ/D) [150, 151, 152]:

$$f_{F0} = \begin{cases} \frac{16}{Re}, Re \leq 2000, \\ \left[-4 \lg \left(\frac{\varepsilon/D}{3,7065} - \frac{5,0452}{Re} \lg \left(\frac{(\varepsilon/D)^{1,1098}}{2,8257} + \left(\frac{7,149}{Re} \right)^{0,8981} \right) \right) \right]^{-2}, Re \geq 4000, \end{cases} \quad (1.18)$$

ε – абсолютна шорсткість молокопровідної лінії, м;

D – діаметр молокопровідної лінії, м;

μ_{fg} – динамічна в'язкість двофазного середовища, Па·с [153, 154]

$$\mu_{fg} = \frac{\mu_g \mu_f}{\mu_f x + (1-x)\mu_g}. \quad (1.19)$$

Ураховуючи динамічну в'язкість, рівняння (1.16) можна переписати у вигляді [155, 156]:

$$-\left(\frac{dp}{dz}\right)_F = -\left(\frac{dp}{dz}\right)_{F0} \left[1 + x \left(\frac{v_{fg}}{v_f} \right) \right] \left[1 + x \left(\frac{\mu_{fg}}{\mu_f} \right) \right] = -\left(\frac{dp}{dz}\right)_{F0} \phi_{F0}^2, \quad (1.20)$$

де $\phi_{F0}^2 = \left[1 + x \left(\frac{v_{fg}}{v_f} \right) \right] \left[1 + x \left(\frac{\mu_{fg}}{\mu_f} \right) \right]$ – двофазний коефіцієнт тертя.

На підставі вищезначеного, для гомогенної моделі течії двофазного мийного розчину загальний перепад тиску (загальний градієнт тиску) становить

$$-\left(\frac{dp}{dz}\right) = \frac{2f_{F0} G^2 v_f}{D} \phi_{F0}^2 + G^2 v_f \left(\frac{v_{fg}}{v_f} \right) \frac{dx}{dz} + \frac{g \sin \theta}{v_f \left[1 + x \left(\frac{v_{fg}}{v_f} \right) \right]}, \quad (1.21)$$

Рух двофазного середовища мийного розчину молокопровідною лінією підпорядковується всім законам збереження. Однак їх розгляд проведемо згідно з теорією континуума. Відповідно до зазначеного припущення, молекулярна структура двофазного середовища ігнорується через малі геометричні розміри.

Закон фазового збереження маси можна подати у вигляді [140-144]

$$\begin{cases} \frac{\partial(\alpha \rho_g)}{\partial t} + \bar{\nabla}(\alpha \rho_g \bar{u}_g) = \Gamma_g, \\ \frac{\partial((1-\alpha)\rho_f)}{\partial t} + \bar{\nabla}((1-\alpha)\rho_f \bar{u}_f) = \Gamma_f, \end{cases} \quad (1.22)$$

де Γ – швидкість фазової маси на межах розділу в одиниці об'єму, кг/(м³с).

Закон збереження імпульсу фази запишемо у вигляді

$$\begin{cases} \frac{\partial(\alpha \rho_g \bar{u}_g)}{\partial t} + \bar{\nabla}(\alpha \rho_g \bar{u}_g \bar{u}_g) = -\bar{\nabla}p + \mu_g \bar{\nabla} \bar{u}_g + \alpha \rho_g \bar{g} + \bar{S}_g, \\ \frac{\partial((1-\alpha) \rho_f \bar{u}_f)}{\partial t} + \bar{\nabla}((1-\alpha) \rho_f \bar{u}_f \bar{u}_f) = -\bar{\nabla}p + \mu_f \bar{\nabla} \bar{u}_f + (1-\alpha) \rho_f \bar{g} + \bar{S}_f, \end{cases} \quad (1.23)$$

де $\bar{S}_g = \Gamma_g \bar{u}_g$, $\bar{S}_f = \Gamma_f \bar{u}_f$ – момент імпульсу фазової маси на межах розділу в одиниці об'єму, кг/(м²с²).

Закон збереження енергії представимо з урахуванням к-ε-моделі турбулентності [140-144]

$$\begin{cases} \frac{\partial(\alpha \rho_g \bar{k}_g)}{\partial t} + \bar{\nabla}(\alpha \rho_g \bar{u}_g \bar{k}_g) = \bar{\nabla}(\mu_g \bar{\nabla} \bar{k}_g) - \alpha \rho_g \bar{\varepsilon}_g, \\ \frac{\partial(\alpha \rho_g \bar{\varepsilon}_g)}{\partial t} + \bar{\nabla}(\alpha \rho_g \bar{u}_g \bar{\varepsilon}_g) = \bar{\nabla}(\mu_g \bar{\nabla} \bar{\varepsilon}_g) - \alpha \rho_g \frac{\bar{\varepsilon}_g^2}{\bar{k}_g}, \end{cases} \quad (1.24)$$

$$\begin{cases} \frac{\partial((1-\alpha) \rho_f \bar{k}_f)}{\partial t} + \bar{\nabla}((1-\alpha) \rho_f \bar{u}_f \bar{k}_f) = \bar{\nabla}(\mu_f \bar{\nabla} \bar{k}_f) - (1-\alpha) \rho_f \bar{\varepsilon}_f, \\ \frac{\partial((1-\alpha) \rho_f \bar{\varepsilon}_f)}{\partial t} + \bar{\nabla}((1-\alpha) \rho_f \bar{u}_f \bar{\varepsilon}_f) = \bar{\nabla}(\mu_f \bar{\nabla} \bar{\varepsilon}_f) - (1-\alpha) \rho_f \frac{\bar{\varepsilon}_f^2}{\bar{k}_f}, \end{cases}$$

де k – кінетична енергія турбулентності, кг·м²/с²;

ε – швидкість дисипації кінетичної енергії турбулентності, кг·м²/с³.

1.6 Мета і задачі досліджень

На підставі проведеного аналізу можна зробити такі висновки:

1. Аналіз чинників і наслідків неефективного промивання доїльних установок показав, що утворення забруднень (молочних залишків, бруду, бактеріальних скупчень, інших частинок і речовин) на внутрішніх поверхнях молокопровідної системи доїльної установки в результаті неякісного виконання технологічної операції промивання призводить до збільшення бактеріального забруднення молока і як наслідок до зниження його гатунку.

2. У результаті аналізу техніко-технологічного забезпечення промивання доїльних установок встановлено, що найбільш ефективними є циркуляційні

системи промивання із регульованим утворенням пробкового режиму з використанням повітряних і гідро- інжекторів на базі автоматичного керування. З метою підвищення конкурентоздатності вітчизняного виробника на світовому ринку базовою моделлю для проведення подальшого удосконалення обрано автомат промивки АП-03 виробництва ТДВ «Брацлав».

3. Аналіз літературних джерел показав, що незважаючи на відмінність у кількісних характеристиках процесу промивання доїльних установок (тривалість, температура і швидкість руху мийного розчину) загалом за складом операцій і послідовності їх виконання на сьогодні існує єдина думка. Однак для підвищення ефективності і ресурсозбереження (зменшенням споживання витрат повітря, гарячої води, енергії і експлуатаційних витрат) процес промивання доїльних установок повинен бути адаптивним на основі даних, отриманих із засобів контролю оцінки стану поверхонь молокопровідної системи і гідродинамічних параметрів руху двофазного мийного розчину.

4. Аналіз теоретичних і експериментальних передумов техніко-технологічного забезпечення промивання доїльних установок показав, що процес руху двофазного мийного розчину при пробковому режимі течії, який утворюється під дією повітряних і гідро- інжекторів, досліджено не достатньо. Тому необхідно більш детально дослідити зазначений процес і визначити відповідні закономірності, на основі яких можна створити алгоритм роботи системи промивання молокопровідної лінії доїльних установок із автоматизованим контролем їх режимних параметрів.

Як **гіпотезу** приймаємо те, що ефективність роботи системи промивання доїльних установок залежить від гідродинамічних процесів руху двофазного мийного розчину і може бути підвищена шляхом використання відповідного устаткування, призначення якого створити умови інтенсифікації процесу руйнування молочних відкладень на поверхнях молокопровідного обладнання, які контактують із молоком.

Метою досліджень є підвищення ефективності роботи системи промивання доїльних установок шляхом використання повітряних та гідравлічних інжекторів з автоматизованим керуванням режимних параметрів їх дії в залежності від показників забруднення молокопровідного обладнання.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні **задачі**:

– визначити напрями удосконалення техніко-технологічного забезпечення процесу промивання доїльних установок;

– дослідити явище адгезії між молочними відкладеннями і поверхнею молокопровідних ліній і визначити умови руйнування;

– розробити математичну модель гідродинамічного руху двофазного мийного розчину в молокопровідних лініях систем промивання доїльних установок з повітряним інжектором;

– розробити математичну модель роботи гідравлічного інжектора системи промивання;

– розробити систему автоматизації контролю рівня забрудненості молочними відкладеннями молокопровідних ліній доїльних установок;

– провести експериментальні дослідження розробленої системи автоматизованого контролю режимних параметрів роботи повітряного та гідравлічного інжекторів;

– провести виробничу перевірку та економічну оцінку ефективності розробленої автоматизованої системи промивання молокопровідних ліній доїльних установок..

Основні наукові результати розділу опубліковано в працях автора [157].

РОЗДІЛ 2

ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ПРОМИВАННЯ МОЛОКОПРОВІДНОЇ ЛІНІЇ ДОЇЛЬНОЇ УСТАНОВКИ

2.1 Конструктивно-технологічна схема система промивання молокопровідної лінії доїльних установок

Відповідно до задач досліджень у традиційну систему промивання молокопровідної лінії доїльної установки включені наступні елементи: повітряні і гідро- інжектори та фотодатчики визначення забрудненості (рис. 2.1). Для визначення режимів роботи запропонованих повітряних і гідро-інжекторів необхідно теоретично і експериментально встановити функціональні залежності впливу гідродинамічних параметрів руху двофазного мийного розчину молокопровідною лінією доїльних установок різних типів під їх впливом.

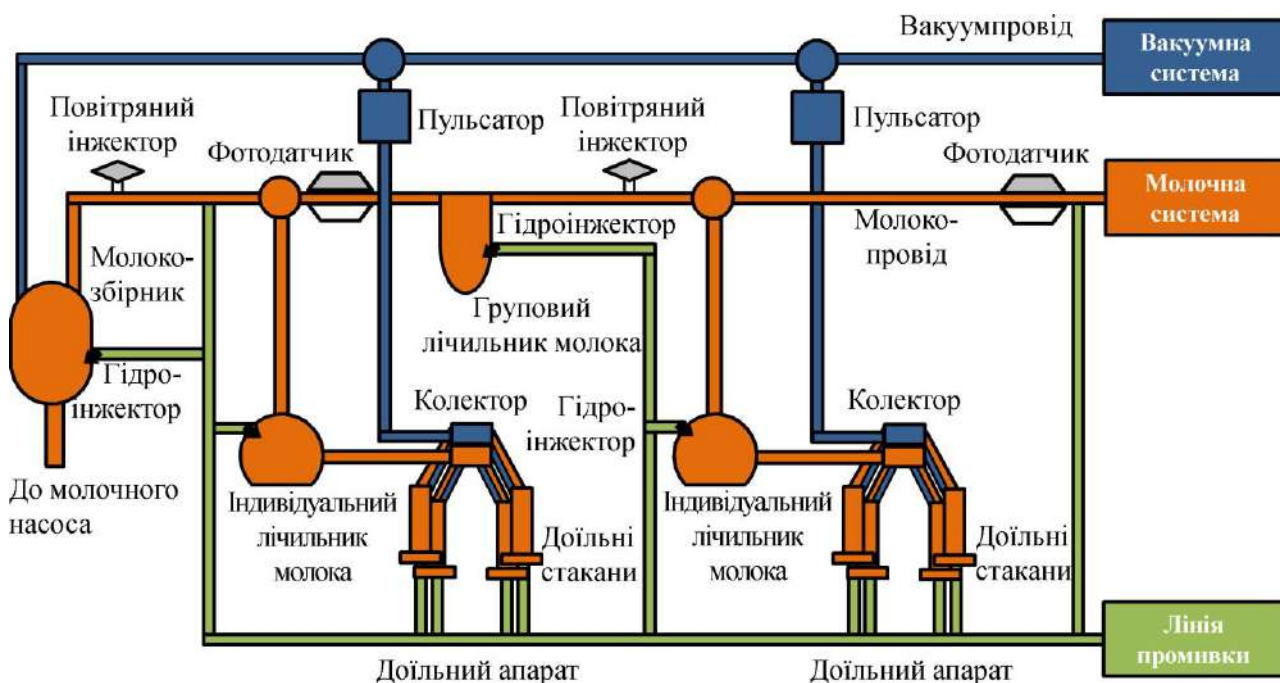


Рисунок 2.1 – Конструктивно-технологічна схема система промивання молокопровідної лінії доїльних установок

Для створення і застосування системи промивання доїльної установки із автоматизованим контролем режимних параметрів повітряного і гідроінжектора необхідно розробити і дослідити фотодатчик визначення забрудненості молокопровідної лінії.

2.2 Обґрунтування умов подолання сил адгезії між молочними відкладеннями і поверхнею молокопровідної лінії

Першим етапом теоретичних досліджень є розрахунок сили адгезії між молочними відкладеннями і поверхнею молокопровідної лінії. Значення зазначеної сили необхідне для визначення найменшої допустимої швидкості руху мийного розчину.

Відповідно до проведеного аналізу чинників і наслідків неефективного промивання доїльних установок припустимо, що молочні відкладення представляються у вигляді крапель рідини молочного походження. Складемо розрахункову схему, яку зображено на рис. 2.2. Відповідно до неї на відкладення діють наступні сили вздовж вісі Ox .

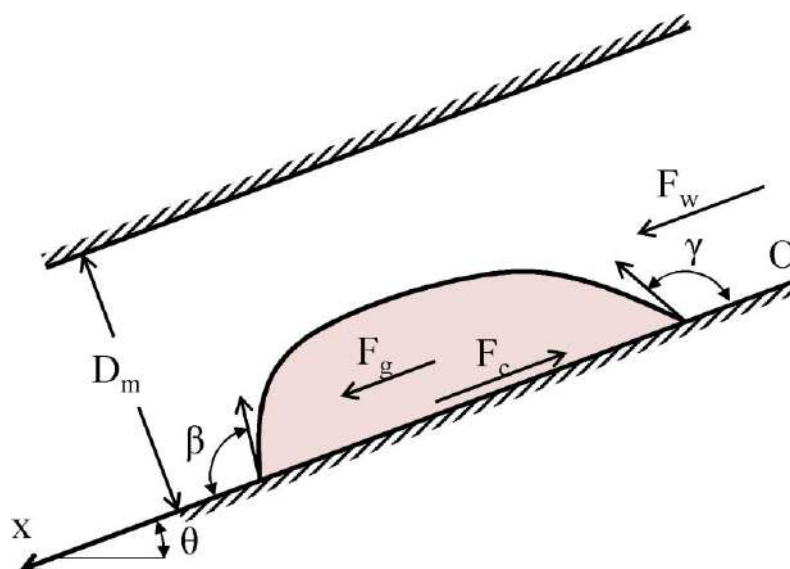


Рисунок 2.2 – Розрахункова схема дії сил відкладення у вигляді краплі рідини молочного походження

1. Сила тяжіння (проекція на вісь молокопровідної лінії):

$$F_g = \rho_m V_m g \sin \theta, \quad (2.1)$$

де ρ_m – густина відкладення, кг/м³;

g – прискорення вільного падіння, м/с²;

θ – кут нахилу молокопровідної лінії, град;

V_m – об'єм відкладення, м³.

Згідно з дослідженнями [158, 159, 160] об'єм відкладення у вигляді краплі рідини можна розрахувати за формулою

$$V_m = \frac{\pi(1 - \cos\beta)^2(2 + \cos\gamma)r_k^3}{24\sin^3\beta}, \quad (2.2)$$

де β, γ – краєві кути краплі, град;

r_k – радіус площі контакту краплі, м [161, 162, 163]:

$$r_k = \sqrt{\frac{24\sin^3\beta(\cos\gamma - \cos\beta)\sigma_{mf}}{\rho_m g(1 - \cos\beta)^2(2 + \cos\beta)\sin\theta}}, \quad (2.3)$$

σ_{mf} – поверхневий натяг краплі між миючим розчином і відкладенням, Н/м.

Силу адгезії згідно з дослідженнями [164, 165] можна представити у вигляді

$$F_c = c_f \sigma_{mf} r_k (\cos\gamma - \cos\beta), \quad (2.4)$$

де c_f – емпіричний коефіцієнт $c_f \approx 1,5$ [166].

Силу Стокса (сила в'язкого тертя) запишемо у такій формі:

$$F_w = c_{f2} \mu_f r_k u_f \sqrt{Re_f}, \quad (2.5)$$

де c_{f2} – емпіричний коефіцієнт $c_{f2} \approx 1,8$ [167].

μ_f – динамічна в'язкість мийного розчину, Па·с;

u_f – швидкість мийного розчину, м/с;

Re_f – число Рейнольдса [168];

$$Re_f = \frac{u_f D_m \rho_f}{\mu_f}, \quad (2.6)$$

ρ_f – густина мийного розчину, кг/м³;

D_m – діаметр молокопровідної лінії, м;

Умовою руйнування адгезії між відкладеннями і поверхнею молокопровідної лінії є

$$F_w > F_c - F_g. \quad (2.7)$$

Підставляючи до (2.7) вирази (2.1)–(2.6) маємо

$$u_f > \left[\frac{(\pi - c_f) \sigma_{mf} (\cos \gamma - \cos \beta)}{c_{f2} \pi \sqrt{D_m \rho_f \mu_f}} \right]^{2/3}. \quad (2.8)$$

З використанням програмного пакету Mathematica (додаток А) отримана графічна інтерпретація залежності (2.8) при $\mu_f = 8,9 \cdot 10^{-4}$ Па·с, $\rho_f = 1000$ кг/м³ зображена на рис. 2.3.

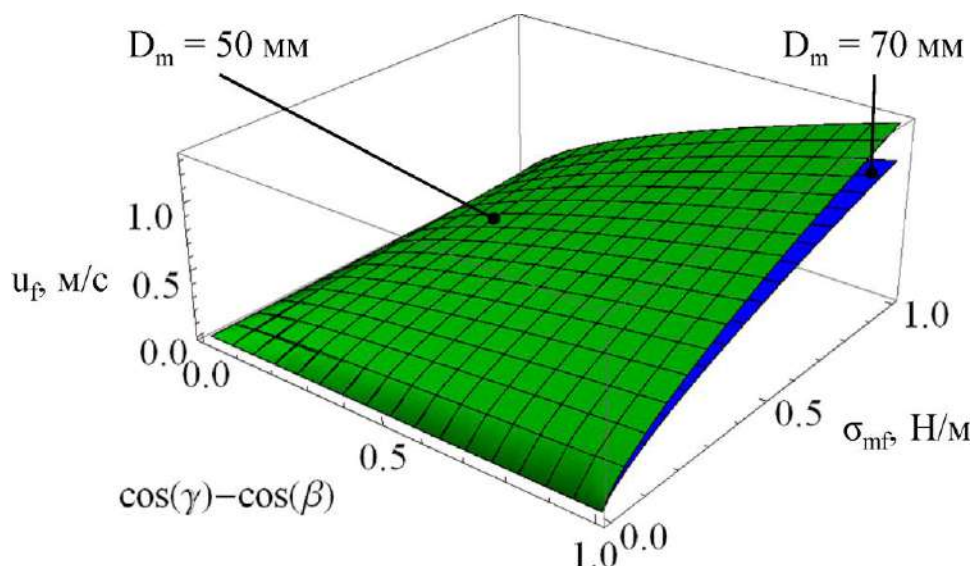


Рисунок 2.3 – Залежність найменшої допустимої швидкості руху мийного розчину від фізико-механічних властивостей молочних відкладень (краєвих кутів β , γ і поверхневого натягу між миючим розчином і відкладенням σ_{mf}) при різних діаметрах молокопровідної лінії D_m

Умова (2.8) і рис. 2.3 визначає мінімальну швидкість потоку мийного розчину для забезпечення руйнування адгезії (зчеплення) між відкладеннями у вигляді крапель рідини молочного походження і поверхнею молокопровідної лінії.

2.3 Розвиток аналітичної моделі переміщення двофазного мийного розчину молокопровідною лінією із запропонованим повітряним інжектором

Другим етапом теоретичних досліджень є доповнення фізико-математичного апарата переміщення двофазного мийного розчину молокопровідною лінією доільної установки (розділ 1.5), який враховує регульоване утворення пробкового режиму з використанням повітряного інжектора.

Враховуючи рівняння і залежності (1.9)-(1.21) для роздільної моделі переміщення двофазного мийного розчину по молокопровідній лінії з запропонованим повітряним інжектором перепад тиску (градієнт тиску) для кожної фази становить

$$\begin{aligned}
 -\left(\frac{dp_g}{dz}\right) &= \frac{2f_{F0}\rho_g u_g^2}{D} \left[1 + \frac{W_g \rho_g}{(W_g + W_f)(\rho_g \alpha + \rho_f(1-\alpha))} \right] \frac{2W_g \mu_f + W_f \mu_g}{W_g \mu_f + W_f \mu_g} + \\
 &+ 2\rho_g^2 u_g^2 \frac{d}{dz} \left(\frac{W_g}{W_g + W_f} \right) \left(\frac{W_g}{\rho_g \alpha (W_g + W_f)} - \frac{W_f}{\rho_f (1-\alpha)(W_g + W_f)} \right) + \\
 &+ \frac{\rho_g^2 u_g^2}{(W_g + W_f)^2} \frac{d\alpha}{dz} \left(\frac{W_f^2}{\rho_f (1-\alpha)^2} - \frac{W_g^2}{\rho_g \alpha^2} \right) + g\rho_g \alpha \sin \theta;
 \end{aligned} \tag{2.9}$$

$$\begin{aligned}
 -\left(\frac{dp_f}{dz}\right) &= \frac{2f_{F0}\rho_f u_f^2}{D} \left[1 + \frac{W_f}{W_g + W_f} \left(\frac{\rho_f}{\rho_g \alpha + \rho_f(1-\alpha)} \right) \right] \frac{W_g \mu_f + 2W_f \mu_g}{W_g \mu_f + W_f \mu_g} + \\
 &+ 2\rho_f^2 u_f^2 \frac{d}{dz} \left(\frac{W_f}{W_g + W_f} \right) \left(\frac{W_f}{\rho_f \alpha (W_g + W_f)} - \frac{W_g}{\rho_g (1-\alpha)(W_g + W_f)} \right) + \\
 &+ \frac{\rho_f^2 u_f^2}{(W_g + W_f)^2} \frac{d\alpha}{dz} \left(\frac{W_g^2}{\rho_g (1-\alpha)^2} - \frac{W_f^2}{\rho_f \alpha^2} \right) + g\rho_f (1-\alpha) \sin \theta.
 \end{aligned} \tag{2.10}$$

де індекси «g» і «f» відносяться до повітря і рідини відповідно;

p – тиск, Па;

z – координата вздовж молокопровідної лінії, м;

f_{F0} – коефіцієнт тертя, який визначається як функція числа Рейнольдса ($Re = \rho u D / \mu$) і відносної шорсткості труби (ε/D);

ε – абсолютна шорсткість молокопровідної лінії, м;

g – прискорення вільного падіння, м/с^2 ;

ρ – густина фази, кг/м^3 ;

u – швидкість фази, м/с ;

μ – динамічна в'язкість фази, $\text{Па}\cdot\text{с}$;

D – діаметр молокопровідної лінії, м ;

θ – кут нахилу молокопровідної лінії відносно горизонту;

α – частка повітря в області молокопровідної лінії;

W – масові витрати фаз, кг/с .

Як зазначалось в першому розділі повітряний інжектор забезпечує періодичну подачу повітряного потоку в молокопровідну лінію, тобто граничні масові витрати фаз при $z = 0$ наступні:

$$W_f|_{z=0} = \text{const};$$

$$W_g(t)|_{z=0} = \begin{cases} 0, & nt_{\text{inj}} + nt_p \leq t \leq nt_{\text{inj}} + (n+1)t_p, n \in \mathbb{N}; \\ W_g|_{z=0} = \text{const}, & nt_{\text{inj}} + (n+1)t_p \leq t \leq (n+1)t_{\text{inj}} + (n+1)t_p, n \in \mathbb{N}; \end{cases} \quad (2.11)$$

де t_{inj} – тривалість такту впуску повітряного інжектора, с ;

t_p – тривалість паузи повітряного інжектора, с ;

$W_g|_{z=0}$ – граничний масовий потік повітря при $z = 0$, кг/с ;

$W_f|_{z=0}$ – граничний масовий потік мийного розчину при $z = 0$, кг/с .

Для знаходження загального перепаду тиску в молокопровідній лінії доїльної установки із запропонованим повітряним інжектором необхідно скласти ліві і праві частини рівняння (2.9) і (2.10):

$$-\left(\frac{dp}{dz}\right) = -\left(\frac{dp_g}{dz}\right) - \left(\frac{dp_f}{dz}\right). \quad (2.12)$$

Для роздільної моделі течії частку повітря в ділянці можна розрахувати за формулою [140]

$$\alpha = \left[1 + \frac{\rho_g}{\rho_f} \left(\frac{W_f}{W_g} \right) \left(0,4 + 0,6 \sqrt{\frac{\frac{\rho_f}{\rho_g} + 0,4 \frac{W_f}{W_g}}{1 + 0,4 \frac{W_f}{W_g}}} \right) \right]. \quad (2.13)$$

Оскільки система диференціальних рівнянь (2.9)–(2.13) є досить складною для аналітичного розрахунку, так як містить періодичну функцію масового потоку повітря, тому дослідження переміщення двофазного мийного розчину молокопровідною лінією доїльної установки проводилося з використанням програмного пакету STAR-CCM+, який реалізовано на основі методу кінцевих елементів [169, 170, 171, 172, 173, 174, 175]. Через те, що результати чисельного моделювання течії двофазного мийного розчину істотно залежать від використовуваної моделі турбулентності, вибору розрахункової сітки, числа її вузлів, граничних умов і обчислювального алгоритму, тому було проведено верифікацію, яка забезпечила збіжність результатів.

2.4 Моделювання руху двофазного мийного розчину горизонтальною молокопровідною лінією з запропонованим повітряним інжектором

Третім етапом теоретичних досліджень є попереднє чисельне моделювання руху двофазного мийного розчину горизонтальною молокопровідною лінією доїльної установки. Схему чисельного дослідження подано на рис. 2.4.

Вихідними параметрами для чисельного моделювання є наступні. Молокопровідна лінія доїльної установки представляє собою прямолінійну горизонтальну трубу діаметром $D_m = 50$ мм і довжиною $L = 5$ м. З лівої сторони схеми зверху встановлений інжектор діаметром $D_m = 10$ мм. Сітку континуума молокопровідної лінії доїльної установки було сформовано на основі генератора поверхневої сітки і генератора багатограничних комірок. При цьому базовий розмір сітки становив 0,001 м (рис. 2.5).

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

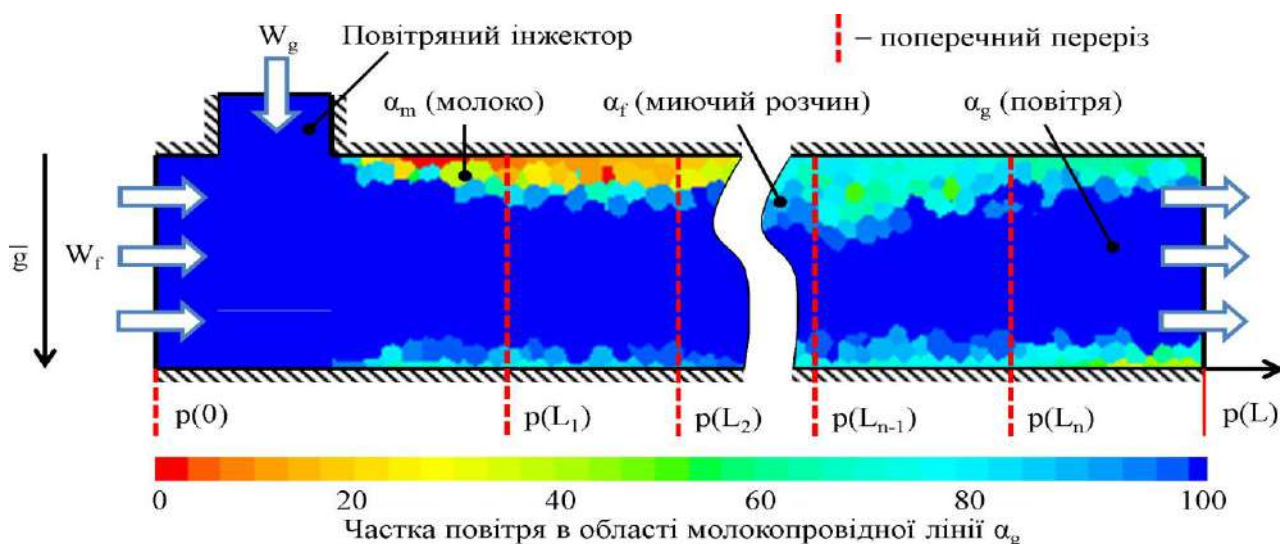


Рисунок 2.4 – Схема чисельного дослідження процесу руху багатозафазного середовища горизонтальною молокопровідною лінією доїльної установки

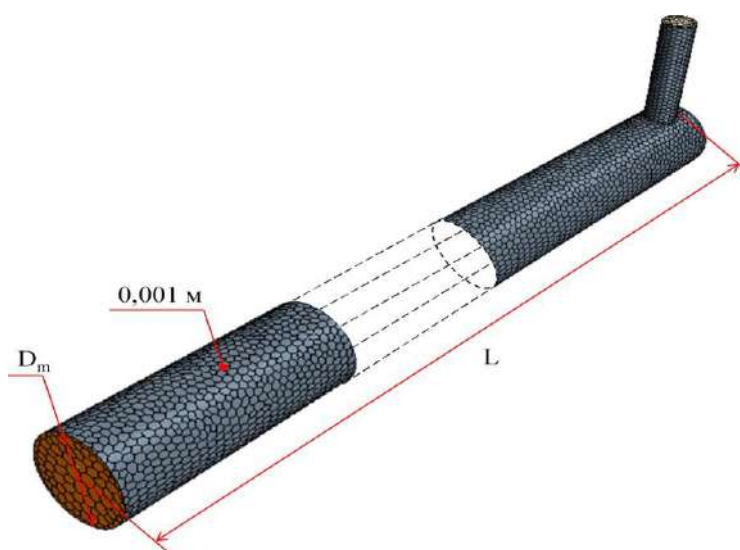


Рисунок 2.5 – Сітка континуума молокопровідної лінії доїльної установки

У якості вихідних даних було прийнято, що мийний розчин в процесі руху мав постійну густину $\rho_f = 997,6 \text{ кг/м}^3$, динамічна в'язкість становила $\mu_f = 8,88 \cdot 10^{-4} \text{ Па}\cdot\text{с}$. Молоко також у процесі руху мало постійну густину $\rho_m = 1027 \text{ кг/м}^3$, його динамічна в'язкість становила $\mu_m = 2,72 \cdot 10^{-3} \text{ Па}\cdot\text{с}$. повітря підпорядковувалася рівнянням ідеального газу. Динамічна в'язкість повітря становила $\mu_g = 1,85 \cdot 10^{-5} \text{ Па}\cdot\text{с}$, молекулярна маса $28,9 \text{ кг/моль}$ [176].

На початковий момент (початкові умови) було прийнято, що весь об'єм горизонтальної прямолінійної молокопровідної лінії був заповнений молоком, тобто $\alpha_m = 100\%$. При цьому вакуумметричний тиск становив $p = 45$ кПа. Далі на лівій межі було реалізовано масовий потік повітря $W_g = 0,001$ кг/с, на правій – сталий вакуумметричний тиск $p(L) = 45$ кПа, а патрубок інжектора був повністю закритий (граничні умови).

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

Дослідження проводилися для чотирьох варіантів: інжектор постійно закритий, інжектор постійно відкритий й інжектор періодично відкривається (1 с і 9 с) і закривається (1 с і 9 с).

Відкритий інжектор сполучає внутрішній об'єм молокопровідної лінії з атмосферним тиском і впускає повітря.

У процесі чисельного моделювання визначали динаміку вакуумметричного тиску в поперечних перерізах на відстані від лівої границі $p(0$ м), $p(1$ м), $p(2$ м), $p(3$ м), $p(4$ м), $p(5$ м) і динаміку вмісту компонентів багатофазного середовища: мийного розчину α_f , повітря α_g , молоко α_m (рис. 2.4).

Для першого варіанту, коли інжектор постійно закритий, було побудовано графік динаміки зміни вмісту компонентів багатофазного середовища в молокопровідній лінії доїльної установки, який показано на рис. 2.6.

На першому етапі (від 0 до 16 с), як зазначалося в методиці досліджень, відбувалося заміщення молока повітрям в об'ємі молокопровідної лінії. Далі значення вмісту молока і повітря стабілізувалося і становило відповідно $\alpha_m = 34,4\%$ і $\alpha_g = 65,6\%$. На другому етапі було реалізовано подачу мийного розчину, який заміщає повітря і молоко. На 31,3 с і далі значення вмісту молока становила $\alpha_m = 5,4\%$, що в результаті перерахунку відповідало середній товщині шару та краплин молока 0,68 мм, яке залишилося на стінках молокопровідної лінії.

Динаміка зміни вакуумметричного тиску для першого варіанту, коли інжектор постійно закритий, показано на рис. 2.7. Як видно з рисунку вакуумметричний тиск практично незмінний для всіх ділянок молокопровідної лінії і становить 45 кПа.

Для другого варіанту, коли інжектор постійно відкритий, було побудовано графік динаміки зміни вмісту компонентів багатофазного середовища в молокопровідній лінії доїльної установки, який показано на рис. 2.8.

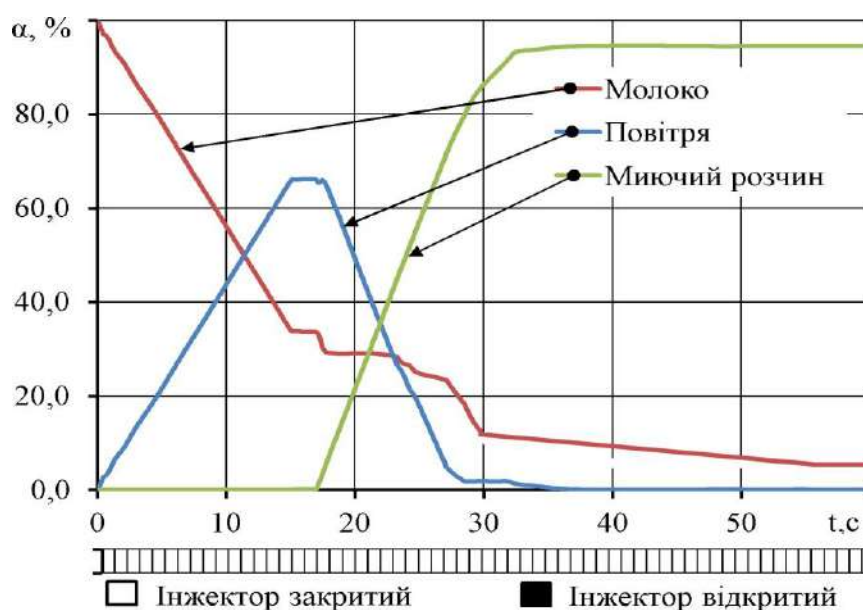


Рисунок 2.6 – Динаміка зміни вмісту компонентів багатофазного середовища в молокопровідній лінії доїльної установки при постійно закритому інжекторі

Перший етап (від 0 до 16 с) відбувається аналогічно попередньому варіанту. На другому етапі було реалізовано подачу мийного розчину, який заміщає повітря і молоко. При цьому інжектор відкривається і залишається в такому стані протягом всього процесу в результаті чого через нього поступає атмосферне повітря. На 20,2 с і далі значення вмісту молока стабілізується і становить $\alpha_m = 3,9 \%$. Оскільки причиною такого залишкового вмісту молока є його адгезія, то перерахована його середня товщина шару на стінках молокопровідної лінії становить 0,49 мм. Згідно з формулами (2.2) і (2.3) товщина шару краплі, що утримується на стінках під дією адгезії, не повинно

перевищувати 1,96 мм, тобто чисельне моделювання адекватно враховує явище адгезії.

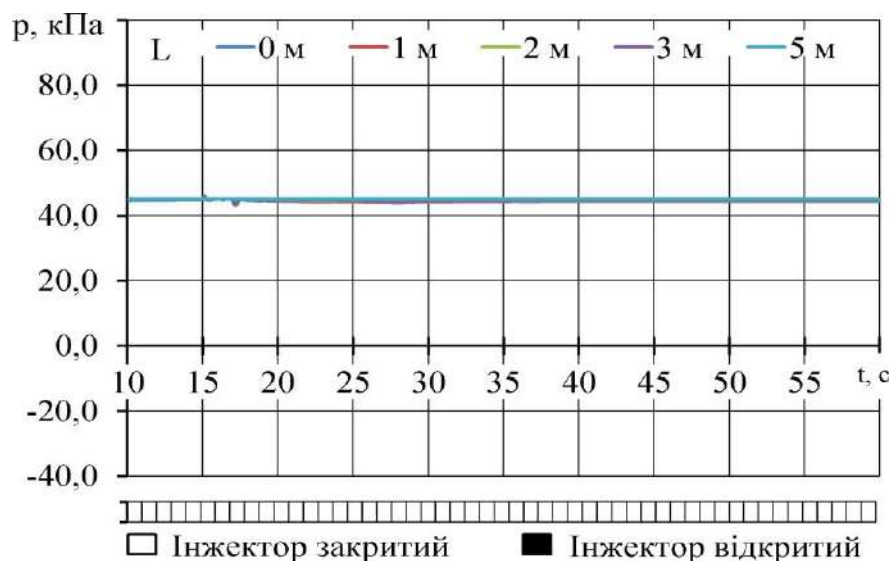


Рисунок 2.7 – Динаміка зміни вакуумметричного тиску в молокопровідній лінії доїльної установки при постійно закритому інжекторі

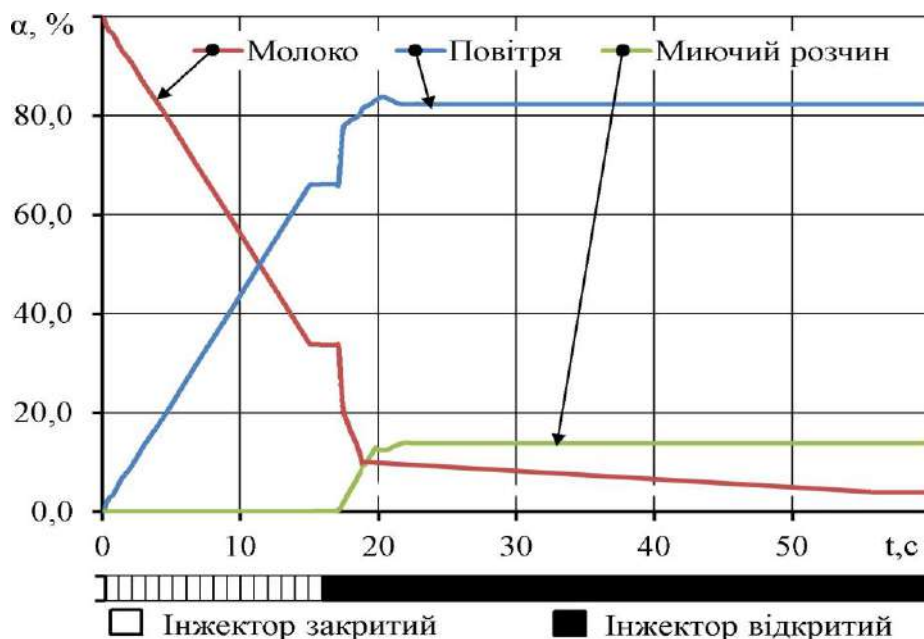


Рисунок 2.8 – Динаміка зміни вмісту компонентів багатозфазного середовища в молокопровідній лінії доїльної установки при постійно відкритому інжекторі

Динаміка вакуумметричного тиску для другого варіанту, коли інжектор постійно відкритий, показано на рис. 2.9. Як видно з рисунку при відкритому інжекторі молокопровідна лінія сполучається з атмосферним тиском і вакуумметричний тиск по всіх ділянках спочатку зменшується до значення – 17,1 кПа (що більше атмосферного), а потім виникають затухаючі коливання і через 5,2 с стабілізується на значенні 45 кПа.

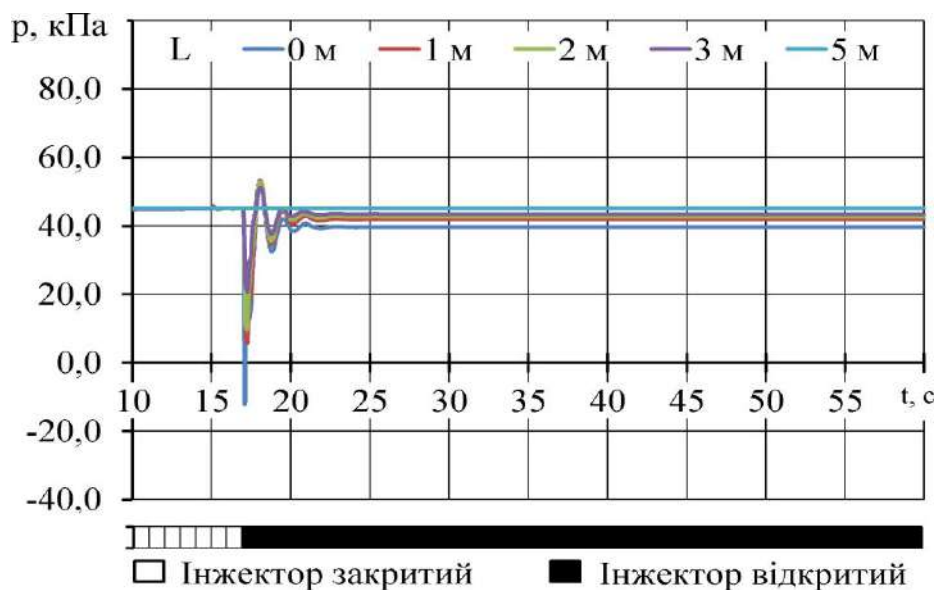


Рисунок 2.9 – Динаміка зміни вакуумметричного тиску в молокопровідній лінії доїльної установки при постійно відкритому інжекторі

Для третього варіанту, коли інжектор періодично відкривається (1 с) і закривається (1 с), було побудовано графік динаміки вмісту компонентів багатофазного середовища в молокопровідній лінії доїльної установки, який показано на рис. 2.10.

Перший етап (від 0 до 16 с) відбувається аналогічно попереднім варіантам. На другому етапі було реалізовано подачу мийного розчину, який заміщає повітря і молоко. При цьому інжектор протягом всього процесу періодично відкривається і закривається з інтервалами в 1 с. На 21,6 с і далі значення вмісту молока стабілізується і становить $\alpha_m = 2,1$ %. Це свідчить про залишок молока на стінках молокопровідної лінії із середньої товщиною шару 0,27 мм.

Динаміка зміни вакуумметричного тиску для третього варіанту, коли інжектор періодично відкривається (1 с) і закривається (1 с), представлено на рис. 2.11. Як видно з рисунку при кожному відкритті інжектора молокопровідна лінія сполучається з атмосферним тиском і вакуумметричний тиск по всіх ділянках спочатку зменшується до середнього значення $-39,7$ кПа (що більше атмосферного), а потім різко збільшується до середнього значення $91,2$ кПа. Далі ці коливання вакуумметричного тиску повторюються. Аналіз рисунку дозволив зробити висновок про зменшення вакуумметричного тиску при віддаленні від інжектора.

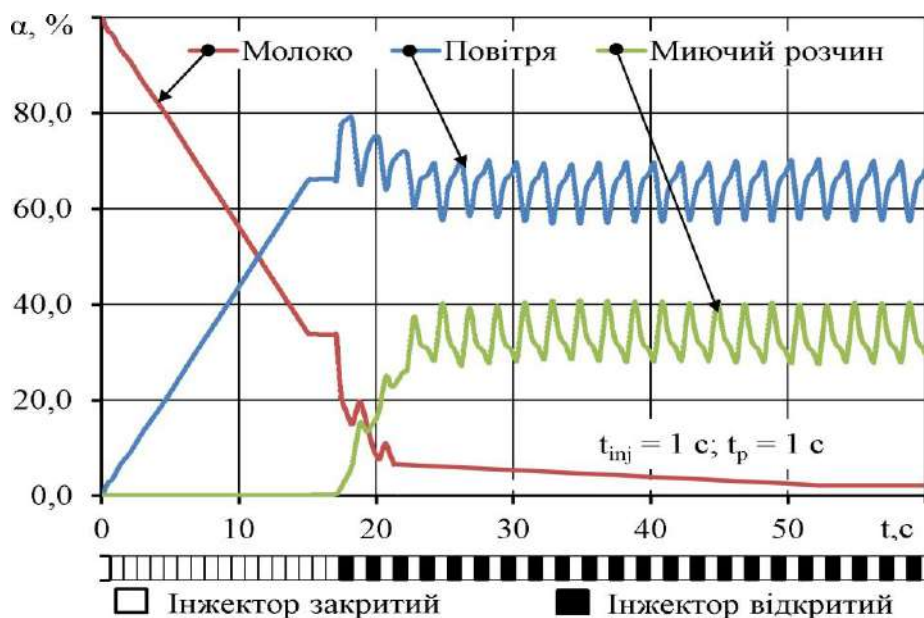


Рисунок 2.10 – Динаміка зміни вмісту компонентів багатозфазного середовища в молокопровідній лінії доїльної установки для варіантів, коли інжектор періодично відкривається і закривається з інтервалами 1 с

На рис. 2.12 зображено графік максимального p_{max} і мінімального p_{min} вакуумметричного тиску залежно від відстані L до інжектора при $p_w = 45,0$ кПа, $t_{inj} = 1 c$, $t_p = 1 c$. Аналіз рисунку дає змогу стверджувати про затухання коливань вакуумметричного тиску при віддаленні від інжектора за експоненціальним

законом (апроксимацію отриманих даних проведено в програмному пакеті Mathematica):

$$p_{\max} = 46,1 \cdot e^{-0,264 L} + 45,0, \quad (2.14)$$

$$p_{\min} = -80,3 \cdot e^{-0,245 L} + 45,0. \quad (2.15)$$

Згідно з ISO 5707 [26] і ISO 6690 [27] допустимими коливання вакуумметричного тиску є 2,5 кПа, тому прирівнявши різницю рівнянь (2.14) і (2.15) до 2,5 кПа визначимо значення відстані до інжектора:

$$46,1 \cdot e^{-0,264 L} + 80,3 \cdot e^{-0,245 L} = 2,5 \rightarrow L = 12,8 \text{ м}. \quad (2.16)$$

Тобто найменша відстань між інжекторами при $p_w = 45,0$ кПа, $t_{\text{inj}} = 1$ с, $t_p = 1$ с повинна становити $L = 12,8$ м.

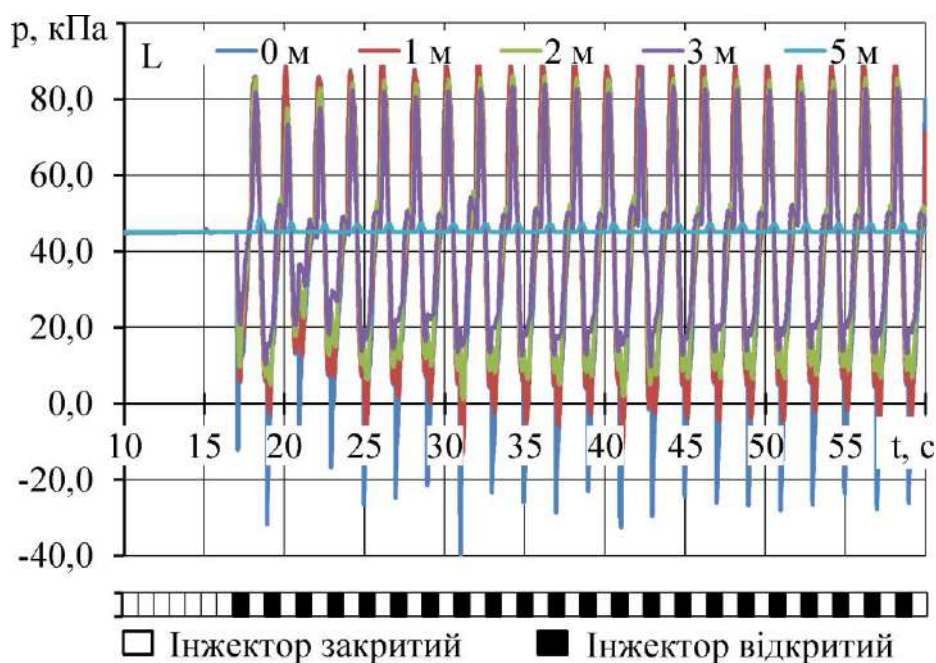


Рисунок 2.11 – Динаміка зміни вакуумметричного тиску в молокопровідній лінії доїльної установки для варіантів, коли інжектор періодично відкривається і закривається з інтервалами 1 с

Для четвертого варіанту, коли інжектор періодично відкривається (9 с) і закривається (9 с), було побудовано графік динаміки зміни вмісту компонентів багатофазного середовища в молокопровідній лінії доїльної установки, який представлено на рис. 2.13.

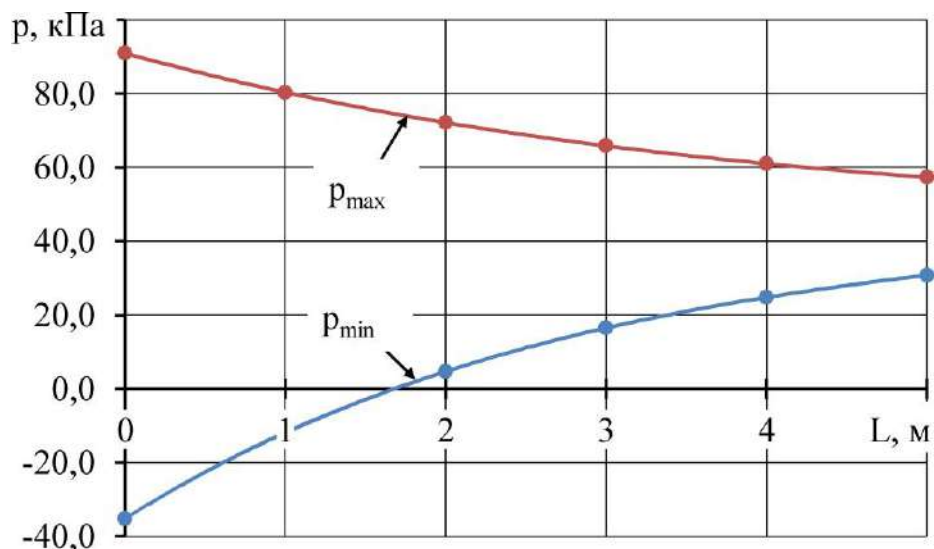


Рисунок 2.12 – Залежність максимального p_{\max} і мінімального p_{\min} вакуумметричного тиску від відстані L до інжектора для варіантів, коли інжектор періодично відкривається і закривається з інтервалами 1 с

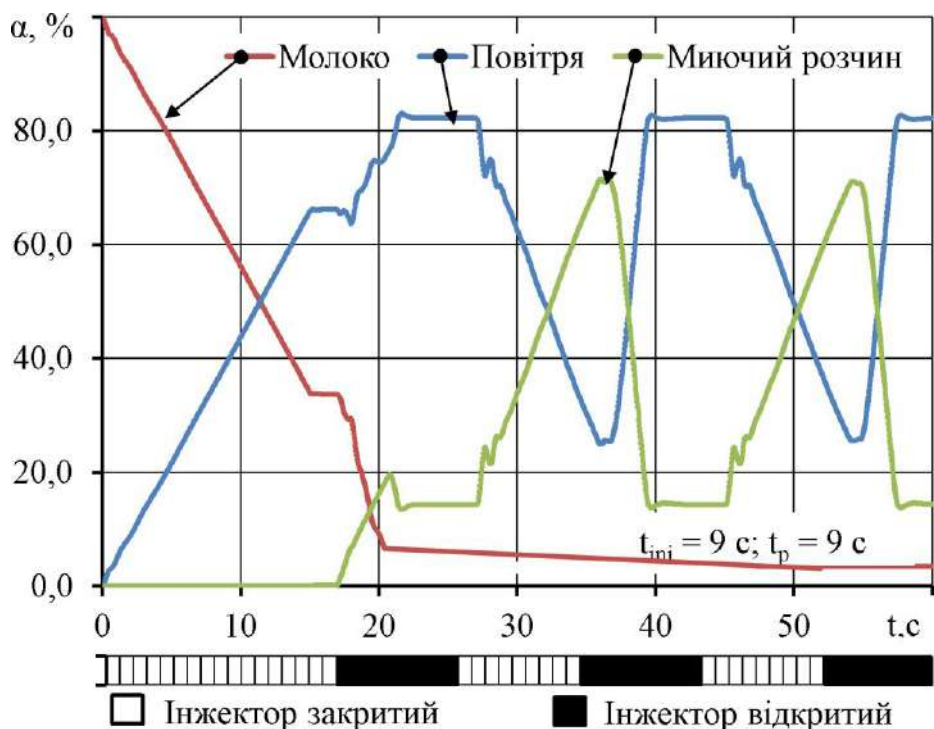


Рисунок 2.13 – Динаміка зміни вмісту компонентів багатозафазного середовища в молокопровідній лінії доїльної установки для варіантів, коли інжектор періодично відкривається і закривається з інтервалами 9 с

Перший етап (від 0 до 16 с) відбувається аналогічно попереднім варіантам. На другому етапі було реалізовано подачу мийного розчину, який заміщає повітря і молоко. При цьому інжектор протягом всього моделювання періодично відкривається і закривається з інтервалами в 9 с. На 20,5 с і далі значення вмісту молока стабілізується і становить $\alpha_m = 3,5\%$. Це свідчить про залишок молока на стінках молокопровідної лінії із середньої товщиною шару 0,43 мм.

Динаміка вакуумметричного тиску для четвертого варіанту, коли інжектор періодично відкривається (9 с) і закривається (9 с), представлено на рис. 2.14. Як видно з рисунка при кожному відкритті інжектора молокопровідна лінія сполучається з атмосферним тиском і вакуумметричний тиск всіма ділянками спочатку зменшується до середнього значення $-137,1$ кПа (що більше атмосферного), а потім різко збільшується до середнього значення $72,2$ кПа. Далі ці коливання вакуумметричного тиску повторюються. Затухання вакуумметричного тиску (до 5 % від середнього значення) відбувається за 5,2 с.

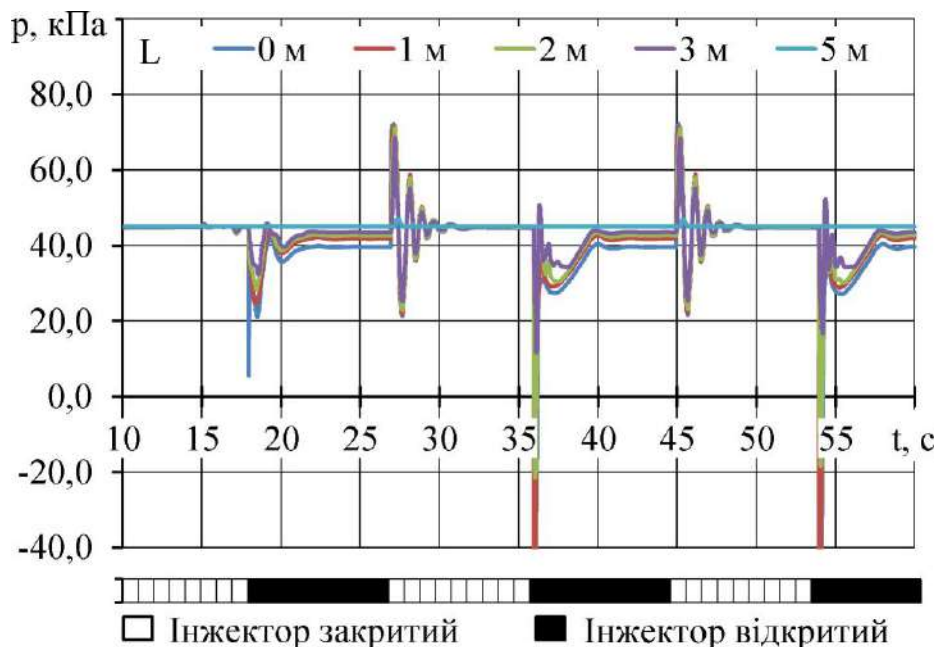


Рисунок 2.14 – Динаміка зміни вакуумметричного тиску в молокопровідній лінії доільної установки для варіантів, коли інжектор періодично відкривається і закривається з інтервалами 9 с

Аналіз рис. 2.14 дозволив зробити висновок про зменшення вакууметричного тиску при віддаленні від інжектора.

На рис. 2.15 зображено графік максимального p_{\max} і мінімального p_{\min} вакууметричного тиску залежно від відстані L до інжектора при $p_w = 45,0$ кПа, $t_{\text{відк}} = 9$ с, $t_{\text{закр}} = 9$ с. Апроксимацію отриманих даних у програмному пакеті Mathematica дає змогу стверджувати про затухання коливань вакууметричного тиску при віддаленні від інжектора за експоненціальним законом:

$$p_{\max} = 27,2 \cdot e^{-0,421 L} + 45,0, \quad (2.17)$$

$$p_{\min} = -145,9 \cdot e^{-0,321 L} + 45,0. \quad (2.18)$$

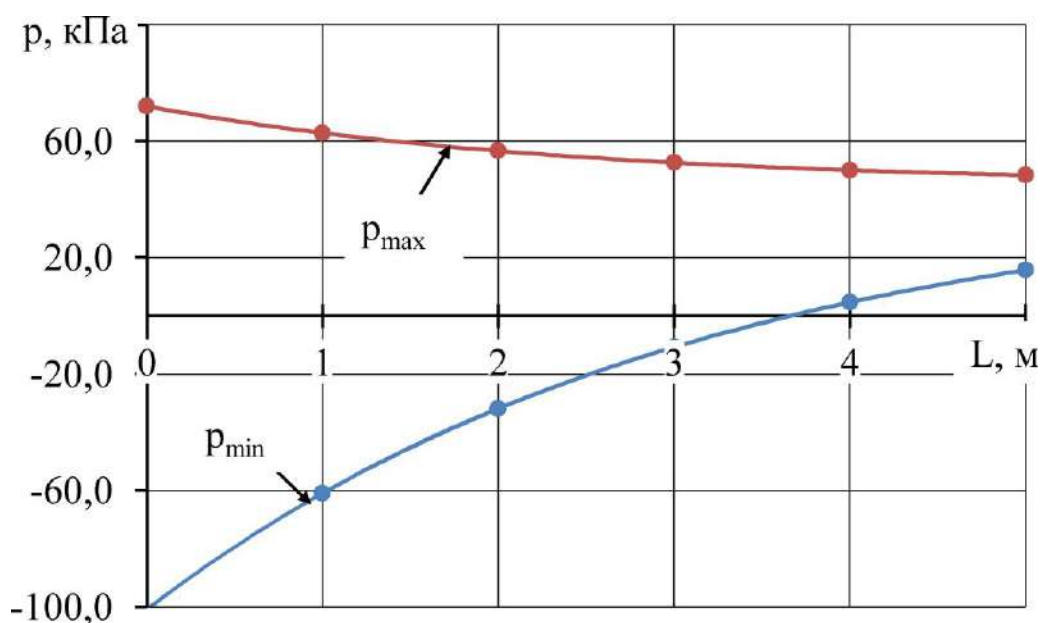


Рисунок 2.15 – Залежність максимального і мінімального вакууметричного тиску від відстані до інжектора для варіантів, коли інжектор періодично відкривається і закривається з інтервалами 9 с

Аналогічно попередньому варіанту, порівнявши різницю рівнянь (2.17) і (2.18) до 2,5 кПа, визначимо значення відстані до інжектора:

$$27,2 \cdot e^{-0,421 L} + 145,9 \cdot e^{-0,321 L} = 2,5 \rightarrow L = 12,7 \text{ м.} \quad (2.19)$$

Тобто найменша відстань між інжекторами при $p_w = 45,0$ кПа, $t_{inj} = 9$ с, $t_p = 9$ с повинна становити $L = 12,7$ м, що практично збігається із значенням для третього варіанту (відхилення – 0,2 м).

Згідно з вищезазначеними результатами можна стверджувати, що застосування інжектора періодичної дії дозволяє зменшити вміст молока в молокопровідній лінії швидше і на більше значення, що свідчить про якісніший процес промивання.

Попереднє чисельне моделювання руху двофазного мийного розчину горизонтальною молокопровідною лінією доїльної установки дали змогу визначити динаміку вакуумметричного тиску на відстані від інжектора. Динаміка змін вакуумметричного тиску для варіантів, коли інжектор періодично відкривається і закривається, представляється у вигляді затухаючих коливань у діапазоні від $-100,9$ кПа до $72,2$ кПа. Різка зміна тиску (0,1-0,6 с) спричиняє періодичні гідроудари, що чинять вплив на зменшення адгезії молока на поверхні молокопровідної лінії.

2.5 Фізико-математичний апарат явища гідравлічного удару для періодично працюючого інжектора системи промивання

Четвертим етапом є доповнення фізико-математичного апарата явища гідравлічного удару для періодично працюючого інжектора повітря системи промивання. Згідно з визначенням, гідравлічний удар (гідроудар) – стрибок тиску в будь-якій системі, що заповнена рідиною, викликаний швидкою зміною швидкості потоку цієї рідини. Може виникати внаслідок різкого закриття або відкриття засувки в системі, якою рухається рідина. У першому випадку гідроудар називають позитивним, у другому – негативним [177].

Розповсюдження ударної хвилі, що створюється миттєвим відкриванням і закриттям інжектора, в горизонтальній молокопровідній лінії, проілюстрована на графіках зміни швидкості двофазного мийного розчину (рис. 2.16–2.17).

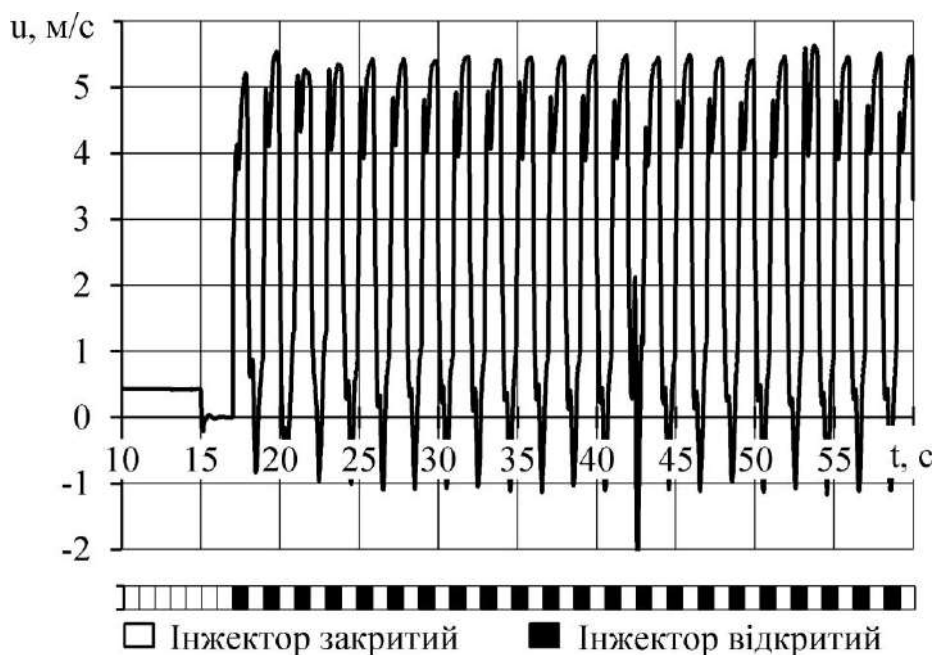


Рисунок 2.16 – Динаміка зміни швидкості двофазного мийного розчину в молокопровідній лінії доїльної установки для варіантів, коли інжектор періодично відкривається і закривається з інтервалами 1 с

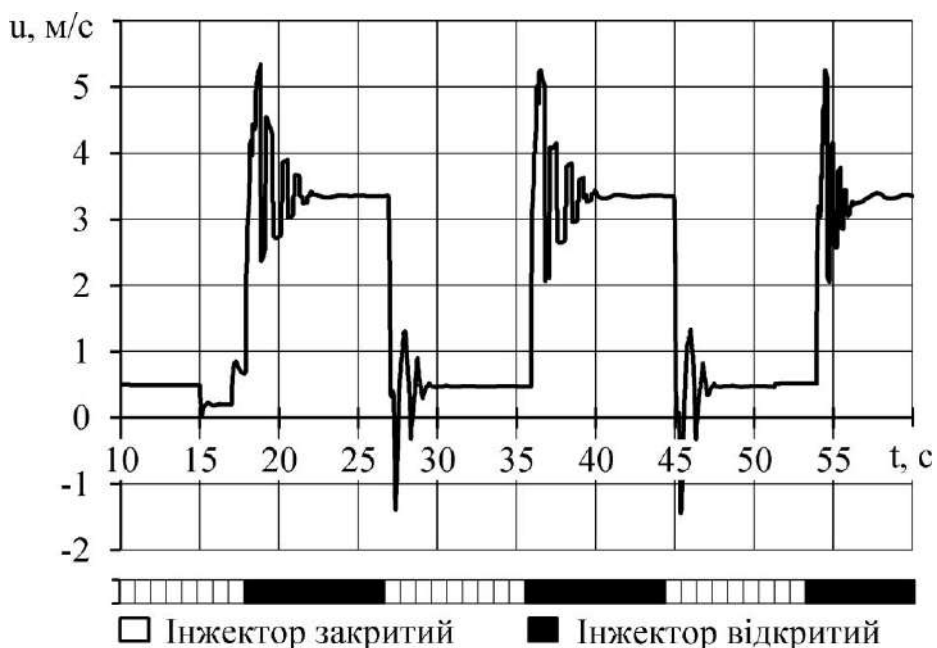


Рисунок 2.17 – Динаміка зміни швидкості двофазного мийного розчину в молокопровідній лінії доїльної установки для варіантів, коли інжектор періодично відкривається і закривається з інтервалами 9 с

Після відкриття повітряного інжектора молокопровідна система сполучається із атмосферним тиском навколишнього середовища, зменшуючи вакууметричний тиск, який перетинає відмітку 0 кПа і переходить в манометричний (надлишковий) тиск (рис. 2.11, 2.14). При цьому швидкість мийного розчину різко збільшується до значення 5,2 м/с за 0,34 с. Далі тиск стабілізується на початковому значенні, а швидкість руху мийного розчину, виконуючи затухаючі коливання, зменшується до значення 3,3 м/с. Це свідчить про створення позитивної ударної хвилі, яка рухається за напрямком руху мийного розчину.

Після закриття повітряного інжектора вакууметричний тиск різко збільшується і починає коливатися, затухаючи до початкового значення (рис. 2.11, 2.14). Швидкість мийного розчину при цьому зменшується до 0 і далі змінює свій знак на протилежний (– 1,3 м/с), що свідчить про зворотній рух мийного розчину. Далі знову збільшується в прямому напрямку руху, після чого динаміка зміни швидкості має вигляд затухаючих з часом коливань. Це призводить до утворення негативної ударної хвилі, яка переміщається вздовж молокопровідної лінії проти напрямку руху мийного розчину.

Згідно з [178, 179] ударна хвиля рухається зі швидкістю, яку можна обчислити за рівнянням

$$a = \sqrt{\frac{\frac{E}{\rho}}{1 + \frac{D_m E}{h_m E_m} j}} = \sqrt{\frac{E h_m E_m}{\rho (h_m E_m + D_m E j)}} \quad (2.20)$$

де ρ – густина фази, кг/м³;

D_m – діаметр труби, м;

h_m – товщина стінки труби, м;

E_m – модуль пружності матеріалу стінки труби, Н/м²;

E – модуль пружності фази, Н/м²;

j – емпіричний коефіцієнт, який залежить від кріплення труби.

Для закріпленої труби, яка чинить опір поздовжньому рухові, j обчислюється за допомогою рівняння [180]:

$$j = \begin{cases} \frac{2h_m(1+\nu) + \frac{D_m(1-\nu^2)}{D_m+h_m}}{D_m}, & \text{якщо } \frac{D_m}{h_m} < 25, \\ 1-\nu^2, & \text{якщо } \frac{D_m}{h_m} > 25, \end{cases} \quad (2.21)$$

де ν – коефіцієнт Пуассона рідкої фази двофазного мийного розчину.

Зв'язок між підвищенням тиску і зміною швидкості руху мийного розчину можна описати рівнянням Жуковського [181]:

$$\Delta p = \rho a \Delta u \quad (2.22)$$

де Δp – підвищення тиску, Па;

Δu – зміна швидкості фази від стаціонарного стану, м/с.

Рівняння Жуковського передбачає, що зміна швидкості відбувається миттєво, що призводить до збільшення тиску.

Відповідно до (1.23)–(1.24) нестационарна система рівнянь законів збереження маси й імпульсу в скалярній формі з урахуванням розповсюдження ударної хвилі вздовж однієї координати має вигляд:

$$\begin{cases} \frac{1}{\alpha \rho_g} \frac{\partial p_g}{\partial t} + \frac{u_g}{\alpha \rho_g} \frac{\partial p_g}{\partial x} + a_g^2 \frac{\partial u_g}{\partial x} = 0, \\ \frac{1}{(1-\alpha)\rho_f} \frac{\partial p_f}{\partial t} + \frac{u_f}{(1-\alpha)\rho_f} \frac{\partial p_f}{\partial x} + a_f^2 \frac{\partial u_f}{\partial x} = 0, \\ \frac{1}{\alpha \rho_g} \frac{\partial p_g}{\partial x} + \frac{\partial u_g}{\partial t} + u_g \frac{\partial u_g}{\partial x} + \frac{4p_w}{\alpha \rho_g D_m} + g \sin \theta = 0, \\ \frac{1}{(1-\alpha)\rho_f} \frac{\partial p_f}{\partial x} + \frac{\partial u_f}{\partial t} + u_f \frac{\partial u_f}{\partial x} + \frac{4p_w}{(1-\alpha)\rho_f D_m} + g \sin \theta = 0, \end{cases} \quad (2.23)$$

де p_w – робочий вакуумметричний тиск, Па.

Для розв'язання системи рівнянь (2.23) додаємо до першого рівняння добуток третього рівняння і константи λ_g . Аналогічного додаємо до другого рівняння добуток четвертого рівняння і константи λ_f . У результаті отримуємо

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{\partial p_g}{\partial t} + u_g \frac{\partial p_g}{\partial x} + \alpha \rho_g a_g^2 \frac{\partial u_g}{\partial x} + \\ + \lambda_g \left(\frac{1}{\alpha \rho_g} \frac{\partial p_g}{\partial x} + \frac{\partial u_g}{\partial t} + u_g \frac{\partial u_g}{\partial x} + \frac{4p_w}{\alpha \rho_g D_m} + g \sin \theta \right) = 0, \\ \frac{\partial p_f}{\partial t} + u_f \frac{\partial p_f}{\partial x} + (1-\alpha) \rho_f a_f^2 \frac{\partial u_f}{\partial x} + \\ + \lambda_f \left(\frac{1}{(1-\alpha) \rho_f} \frac{\partial p_f}{\partial x} + \frac{\partial u_f}{\partial t} + u_f \frac{\partial u_f}{\partial x} + \frac{4p_w}{(1-\alpha) \rho_f D_m} + g \sin \theta \right) = 0. \end{array} \right. \quad (2.24)$$

За результатом перегрупування доданків кожного з рівнянь системи (2.24)

маємо

$$\left\{ \begin{array}{l} \left[\frac{\partial p_g}{\partial t} + \left(u_g + \frac{\lambda_g}{\alpha \rho_g} \right) \frac{\partial p_g}{\partial x} \right] + \lambda_g \left[\frac{\partial u_g}{\partial t} + \left(u_g + \frac{\alpha \rho_g a_g^2}{\lambda_g} \right) \frac{\partial u_g}{\partial x} \right] + \lambda_g C_g = 0, \\ \left[\frac{\partial p_f}{\partial t} + \left(u_f + \frac{\lambda_f}{(1-\alpha) \rho_f} \right) \frac{\partial p_f}{\partial x} \right] + \lambda_f \left[\frac{\partial u_f}{\partial t} + \left(u_f + \frac{(1-\alpha) \rho_f a_f^2}{\lambda_f} \right) \frac{\partial u_f}{\partial x} \right] + \lambda_f C_f = 0, \end{array} \right. \quad (2.25)$$

де $C_g = \frac{4p_w}{\alpha \rho_g D_m} + g \sin \theta$, $C_f = \frac{4p_w}{(1-\alpha) \rho_f D_m} + g \sin \theta$ – введені константи.

Рішення системи диференціальних рівнянь в частинних похідних (2.25)

зводиться до рішення наступних рівнянь

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{\partial p_g}{\partial t} + \lambda_g \frac{\partial u_g}{\partial t} + \lambda_g C_g = 0, \\ \frac{\partial p_f}{\partial t} + \lambda_f \frac{\partial u_f}{\partial t} + \lambda_f C_f = 0, \\ \left(u_g + \frac{\lambda_g}{\alpha \rho_g} \right) \frac{\partial p_g}{\partial x} + \lambda_g \left(u_g + \frac{\alpha \rho_g a_g^2}{\lambda_g} \right) \frac{\partial u_g}{\partial x} = 0, \\ \left(u_f + \frac{\lambda_f}{(1-\alpha) \rho_f} \right) \frac{\partial p_f}{\partial x} + \lambda_f \left(u_f + \frac{(1-\alpha) \rho_f a_f^2}{\lambda_f} \right) \frac{\partial u_f}{\partial x} = 0. \end{array} \right. \quad (2.26)$$

Перетворимо (2.26):

$$\begin{cases} \frac{\partial p_g}{\partial t} = -\lambda_g \frac{\partial u_g}{\partial t} - \lambda_g C_g, \\ \frac{\partial p_f}{\partial t} = -\lambda_f \frac{\partial u_f}{\partial t} - \lambda_f C_f, \\ \left(u_g + \frac{\lambda_g}{\alpha \rho_g} \right) \frac{\partial p_g}{\partial x} = -\lambda_g \left(u_g + \frac{\alpha \rho_g a_g^2}{\lambda_g} \right) \frac{\partial u_g}{\partial x}, \\ \left(u_f + \frac{\lambda_f}{(1-\alpha)\rho_f} \right) \frac{\partial p_f}{\partial x} = -\lambda_f \left(u_f + \frac{(1-\alpha)\rho_f a_f^2}{\lambda_f} \right) \frac{\partial u_f}{\partial x}. \end{cases} \quad (2.27)$$

Зіставляючи рівняння (2.22), 3 та 4 рівняння (2.27) отримуємо:

$$\begin{cases} \lambda_g = -\alpha \rho_g a_g, \\ \lambda_f = -(1-\alpha)\rho_f a_f. \end{cases} \quad (2.28)$$

Підставимо (2.28) в (2.27):

$$\begin{cases} \frac{\partial p_g}{\partial t} = \alpha \rho_g a_g \frac{\partial u_g}{\partial t} + \alpha \rho_g a_g C_g, \\ \frac{\partial p_f}{\partial t} = (1-\alpha)\rho_f a_f \frac{\partial u_f}{\partial t} + (1-\alpha)\rho_f a_f C_f, \\ \left(u_g - \frac{\alpha \rho_g a_g}{\alpha \rho_g} \right) \frac{\partial p_g}{\partial x} = \alpha \rho_g a_g \left(u_g - \frac{\alpha \rho_g a_g^2}{\alpha \rho_g a_g} \right) \frac{\partial u_g}{\partial x}, \\ \left(u_f - \frac{(1-\alpha)\rho_f a_f}{(1-\alpha)\rho_f} \right) \frac{\partial p_f}{\partial x} = (1-\alpha)\rho_f a_f \left(u_f - \frac{(1-\alpha)\rho_f a_f^2}{(1-\alpha)\rho_f a_f} \right) \frac{\partial u_f}{\partial x}. \end{cases} \quad (2.29)$$

$$\begin{cases} \frac{\partial p_g}{\partial t} = \alpha \rho_g a_g \frac{\partial u_g}{\partial t} + \alpha \rho_g a_g C_g, \\ \frac{\partial p_f}{\partial t} = (1-\alpha)\rho_f a_f \frac{\partial u_f}{\partial t} + (1-\alpha)\rho_f a_f C_f, \\ (u_g - a_g) \frac{\partial p_g}{\partial x} = \alpha \rho_g a_g (u_g - a_g) \frac{\partial u_g}{\partial x}, \\ (u_f - a_f) \frac{\partial p_f}{\partial x} = (1-\alpha)\rho_f a_f (u_f - a_f) \frac{\partial u_f}{\partial x}. \end{cases} \quad (2.30)$$

У результаті сумарну зміна тиску з урахуванням розповсюдження ударної хвилі вздовж молокопровідної лінії доїльної установки по двом фазам можна розрахувати за рівнянням

$$\begin{cases} \frac{\partial p}{\partial t} = \frac{\partial p_g}{\partial t} + \frac{\partial p_f}{\partial t} = \alpha \rho_g a_g \frac{\partial u_g}{\partial t} + \alpha \rho_g a_g C_g + (1-\alpha) \rho_f a_f \frac{\partial u_f}{\partial t} + (1-\alpha) \rho_f a_f C_f, \\ \frac{\partial p}{\partial x} = \frac{\partial p_g}{\partial x} + \frac{\partial p_f}{\partial x} = \alpha \rho_g a_g (u_g - a_g) \frac{\partial u_g}{\partial x} + (1-\alpha) \rho_f a_f (u_f - a_f) \frac{\partial u_f}{\partial x}. \end{cases} \quad (2.31)$$

Замінюючи нескінченні значення dp , du , dt і dx на кінцеві Δp , Δu , Δt і Δx відповідно отримуємо швидкість зміни тиску за часом:

$$\frac{\Delta p}{\Delta t} = \alpha \rho_g a_g \frac{\Delta u_g}{\Delta t} + (1-\alpha) \rho_f a_f \frac{\Delta u_f}{\Delta t} + \alpha \rho_g a_g C_g + (1-\alpha) \rho_f a_f C_f \quad (2.32)$$

Підставляючи до (2.32) коефіцієнти C_g і C_f остаточно маємо:

$$\begin{aligned} \frac{\Delta p}{\Delta t} = \alpha \rho_g a_g \frac{\Delta u_g}{\Delta t} + (1-\alpha) \rho_f a_f \frac{\Delta u_f}{\Delta t} + \frac{4p_w}{D_m} (a_g + a_f) + \\ + (\alpha \rho_g a_g + (1-\alpha) \rho_f a_f) g \sin \theta \end{aligned} \quad (2.33)$$

Відповідно до (2.33) швидкість зміни тиску залежить від зміни швидкостей $\Delta u/\Delta t$ і концентрацій повітряної фази α двофазного мийного розчину, тобто від його режиму течії та швидкості розповсюдження ударної хвилі a_f і a_g . У подальших дослідженнях і будемо використовувати в якості критерію гідравлічного удару швидкість зміни тиску $\Delta p/\Delta t$.

2.6 Обґрунтування режимів роботи повітряного інжектора системи промивання

П'ятим етапом теоретичних досліджень є обґрунтування режимів роботи повітряного інжектора системи промивання доїльної установки.

Як вже було зазначено вище, явище гідравлічного удару породжується раптовою зміною розподілу фаз потоку двофазного мийного розчину, спричиненою періодичною роботою інжектора. Це й призводить до раптової зміни імпульсу двофазного мийного розчину, викликаючи хвилю тиску, що рухається системою. Ця хвиля тиску може призвести як до руйнування молочних відкладень на стінках молокопроводу, так і до можливого пошкодження елементів обладнання молокопровідної системи. Процеси пошкодження і руйнування під впливом ударної хвилі залежить від великої

кількості конструктивних особливостей самого обладнання (міцність матеріалу, геометричні розміри, наявність і якість зварних швів, пайки, місць з'єднання тощо) та ймовірності їх виникнення, тому комплексні дослідження вищезазначених процесів дуже важко провести як з теоретичної точки зору, так і з експериментальної. Однак у дослідженнях [182, 183, 184, 185] зазначено, що швидкість зміни тиску $\Delta p/\Delta t$ для зменшення ймовірності виникнення гідравлічного удару повинна бути мінімальною.

Тому необхідно визначити раціональні режими роботи системи промивання із повітряним інжектором.

Дослідження були проведені на базі чисельного моделювання з використанням програмного пакету STAR-CCM+ (додаток Б). Схема чисельного дослідження (рис. 2.4), обрані моделі, початкові і граничні умови наведені в розділі 2.3. Там же наведено поетапний опис процедури моделювання для випадку, коли інжектор періодично відкривається і закривається.

Факторами досліджень були діаметр молокопроводу D_m , робочий вакуумметричний тиск p_w , тривалість такту впуску повітряного інжектора t_{inj} , тривалість паузи повітряного інжектора t_p . Межі та інтервали факторів досліджень наведені в табл. 2.1.

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

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

$$h_m = \frac{D_m}{2} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{\alpha_m}{100}} \right). \quad (2.34)$$

Таблиця 2.1 – Межі та інтервали факторів чисельного моделювання

Рівень	Діаметр молокопроводу D_m , мм (x_1)	Робочий вакуумметричний тиск p_w , кПа (x_2)	Тривалість такту впуску повітряного інжектора t_{inj} , с (x_3)	Тривалість паузи повітряного інжектора 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

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

Критерієм, який обмежує режимні параметри роботи системи промивання молокопроводів молочно-доїльного обладнання із повітряним інжектором є значення зміни тиску за час такту впуску і паузи повітряного інжектора

(швидкість зміни тиску) $\frac{\Delta p}{\Delta t}$, яке розраховується за формулою

$$\frac{\Delta p}{\Delta t} = \frac{p_{\max} - p_{\min}}{t_{inj} + t_p}. \quad (2.35)$$

Чим більше швидкість зміни тиску в молокопровідній системі молочно-доїльного обладнання, тим більше ймовірність виникнення «некерованого» гідроудару, який зруйнує не тільки шар молока і молочних відкладень на поверхні її стінок, а й може призвести до пошкодження елементів її обладнання.

Раціональні режими роботи системи промивання молокопроводів молочно-доїльного обладнання із повітряним інжектором можна досягти за умови мінімізації значення товщини шару молока на стінці молокопроводу і швидкості зміни тиску.

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

У результаті чисельного моделювання і подальшої обробки отриманих даних у програмному пакеті Mathematica отримано залежність зміни значення товщини шару молока від факторів досліджень у закодованому вигляді

$$\begin{aligned}
 h_m = & 0,337492 + 0,0816377 x_1 + 0,0609942 x_1^2 + 0,00981812 x_2 - \\
 & - 0,0732213 x_1 x_2 + 0,0305382 x_2^2 + 0,0274136 x_3 + \\
 & + 0,00457199 x_1 x_3 + 9,09953 \cdot 10^{-6} x_2 x_3 + 0,0457208 x_3^2 + 0,0731846 x_4 + \\
 & + 0,0122056 x_1 x_4 + 0,000024347 x_2 x_4 - 0,0182404 x_3 x_4 + 0,061028 x_4^2.
 \end{aligned} \tag{2.36}$$

Статистичну обробку рівняння (2.36) подано в табл. 2.2.

У результаті аналізу табл. 2.2, відповідного скорочення незначущих коефіцієнтів і розкодування рівняння (2.36) остаточно маємо залежність зміни значення товщини шару молока від факторів досліджень

$$\begin{aligned}
 h_m = & 0,87386 - 0,0378379 D_m + 0,000609942 D_m^2 + 0,013656 p_w - \\
 & - 0,000488142 D_m p_w + 0,000135725 p_w^2 - 0,02288 t_{inj} + 0,0001143 D_m t_{inj} + \\
 & + 0,00285755 t_{inj}^2 - 0,0324547 t_p + 0,000305141 D_m t_p - \\
 & - 0,00114002 t_{inj} t_p + 0,00381425 t_p^2.
 \end{aligned} \tag{2.37}$$

Мінімальне значення товщини шару молока на стінці молокопроводу $h_m = 0,243$ мм досягається при $D_m = 50$ мм, $p_w = 45$ кПа, $t_{inj} = 3,55$ с, $t_p = 2,78$ с. Фіксуючи по чергово фактори досліджень на зазначеному рівні, графічні інтерпретації залежності (2.37) побудовано на рис. 2.18–2.19.

Фіксуючи значення діаметра молокопроводу D_m на рівнях 50 мм, 60 мм і 70 мм отримуємо раціональні значення інших факторів за умови мінімізації товщини шару молока:

$$\begin{aligned}
 h_m (D = 50 \text{ мм}, p_w = 45 \text{ кПа}, t_{inj} = 3,55 \text{ с}, t_p = 2,78 \text{ с}) &= 0,243 \text{ мм}, \\
 h_m (D = 60 \text{ мм}, p_w = 57,5 \text{ кПа}, t_{inj} = 3,27 \text{ с}, t_p = 2,34 \text{ с}) &= 0,306 \text{ мм}, \\
 h_m (D = 70 \text{ мм}, p_w = 74,9 \text{ кПа}, t_{inj} = 2,98 \text{ с}, t_p = 1,90 \text{ с}) &= 0,406 \text{ мм}.
 \end{aligned} \tag{2.38}$$

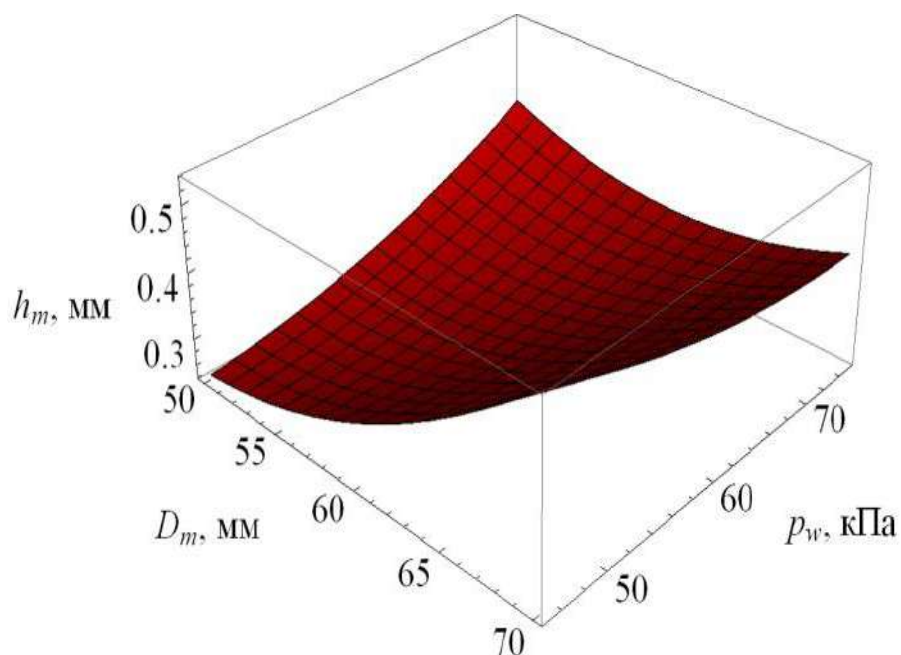


Рисунок 2.18 – Залежність значення товщини шару молока на стінці молокопроводу h_m від діаметра молокопроводу D_m і робочого вакуумметричного тиску p_w

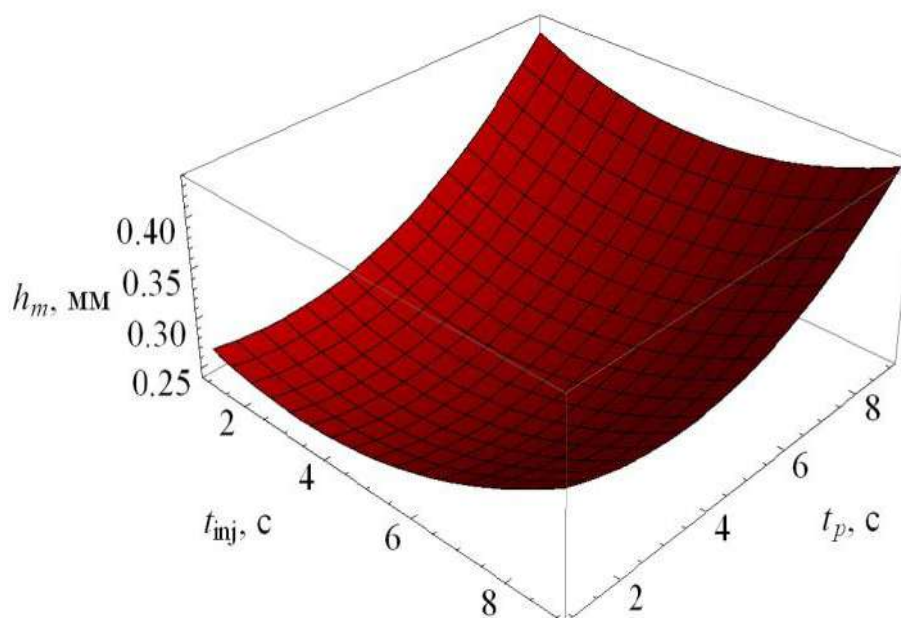


Рисунок 2.19 – Залежність значення товщини шару молока на стінці молокопроводу h_m від тривалості такту впуску повітряного інжектора t_{inj} і тривалості паузи повітряного інжектора t_p

Таблиця 2.2 – Статистична обробка рівняння (2.36)

Коефіцієнт регресії	Значення коефіцієнта регресії	Стандартна похибка	t-statistic	P-Value
a ₀₀	0,337492	0,00272132	124,018	$6,38376 \cdot 10^{-80}$
a ₁₀	0,0816377	0,00111097	73,4831	$4,96084 \cdot 10^{-65}$
a ₂₀	0,00981812	0,00111097	8,8374	$8,4597 \cdot 10^{-13}$
a ₃₀	0,0274136	0,00111097	24,6753	$4,93061 \cdot 10^{-35}$
a ₄₀	0,0731846	0,00111097	65,8743	$6,12415 \cdot 10^{-62}$
a ₁₂	- 0,0732213	0,00136066	- 53,8132	$3,0103 \cdot 10^{-56}$
a ₁₃	0,00457199	0,00136066	3,36013	0,00129839
a ₁₄	0,0122056	0,00136066	8,97038	$4,90858 \cdot 10^{-13}$
a ₂₃	$9,09953 \cdot 10^{-6}$	0,00136066	0,00668759	0,994684
a ₂₄	0,000024347	0,00136066	0,0178935	0,985778
a ₃₄	- 0,0182404	0,00136066	- 13,4055	$1,64895 \cdot 10^{-20}$
a ₁₁	0,0609942	0,00192426	31,6974	$1,17348 \cdot 10^{-41}$
a ₂₂	0,0305382	0,00192426	15,8701	$3,24016 \cdot 10^{-24}$
a ₃₃	0,0457208	0,00192426	23,7602	$4,65679 \cdot 10^{-34}$
a ₄₄	0,061028	0,00192426	31,715	$1,13378 \cdot 10^{-41}$
a ₀₀	0,337492	0,00272132	124,018	$6,38376 \cdot 10^{-80}$

Відповідна графічна інтерпретація залежності (2.37) при умовах (2.38) представлена на рис. 2.20–2.21.

Аналіз рис. 2.18–2.21 і залежності (2.37) дає змогу стверджувати про варіативність режимів роботи інжектора. Чим більший діаметр молокопроводу застосований у молочно-доїльному обладнанні, тим більший вакууметричний тиск необхідно створювати для забезпечення якісного очищення його стінок від залишків молока. При цьому тривалість такту впуску повітряного інжектора t_{inj} і тривалості паузи повітряного інжектора t_p повинні знаходитися в межах 2,98–3,55 с і 1,9–2,78 с відповідно до (2.38). Фізичну суть процесу можна пояснити таким чином: при найменших значеннях тактів інжектора – швидкість розповсюдження ударної хвилі є високою, що призводить до зменшення часу її взаємодії із шаром або краплями молока; при найбільших значеннях тактів – величина зміни вакууметричного тиску є не великою, що призводить до менш руйнівної дії на шар або краплі молока.

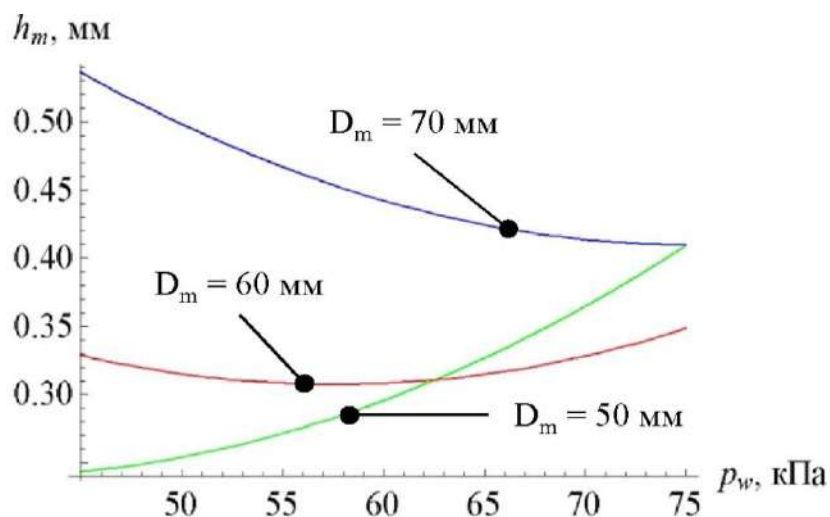


Рисунок 2.20 – Залежність значення товщини шару молока на стінці молокопроводу h_m при різних значеннях його діаметра D_m від робочого вакуумметричного тиску p_w

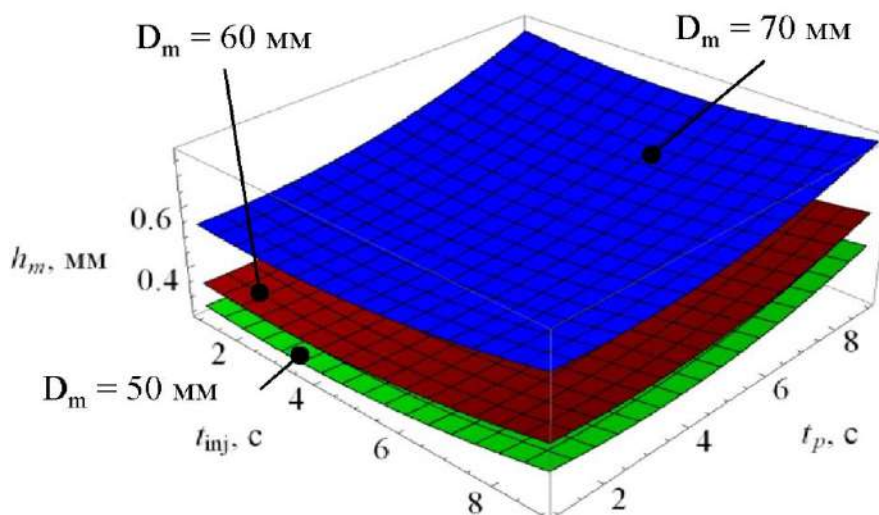


Рисунок 2.21 – Залежність значення товщини шару молока на стінці молокопроводу h_m при різних значеннях його діаметра D_m від тривалості такту впуску повітряного інжектора t_{inj} і тривалості паузи повітряного інжектора t_p

У результаті чисельного моделювання і подальшої обробки отриманих даних у програмному пакеті Mathematica отримано залежність зміни тиску за час такту впуску і паузи повітряного інжектора (швидкість зміни тиску) від факторів досліджень у закодованому вигляді

$$\begin{aligned} \frac{\Delta p}{\Delta t} = & 19,0753 - 2,26911 x_1 - 4,90715 \cdot 10^{-14} x_1^2 + 3,7816 x_2 - 7,99361 \cdot 10^{-15} x_1 x_2 - \\ & - 1,71746 x_2^2 - 20,2799 x_3 + 2,36848 \cdot 10^{-15} x_1 x_3 - 4,42461 x_2 x_3 + 16,1687 x_3^2 - \\ & - 9,10255 x_4 + 1,77636 \cdot 10^{-15} x_1 x_4 - 2,65746 x_2 x_4 + 14,8132 x_3 x_4 - 1,39624 x_4^2. \end{aligned} \quad (2.39)$$

Статистичну обробку рівняння (2.39) наведено в табл. 2.3.

Таблиця 2.3 – Статистична обробка рівняння (2.39)

Коефіцієнт регресії	Значення коефіцієнта регресії	Стандартна похибка	t-statistic	P-Value
a ₀₀	19,0753	2,61737	7,28796	4,97078 · 10 ⁻¹⁰
a ₁₀	- 2,26911	1,06854	-2,12356	0,0374594
a ₂₀	3,7816	1,06854	3,53904	0,000741245
a ₃₀	- 20,2799	1,06854	-18,9791	1,96503 · 10 ⁻²⁸
a ₄₀	- 9,10255	1,06854	-8,5187	3,12889 · 10 ⁻¹²
a ₁₂	- 7,99361 · 10 ⁻¹⁵	1,30869	-6,10812 · 10 ⁻¹⁵	1
a ₁₃	2,36848 · 10 ⁻¹⁵	1,30869	1,80981 · 10 ⁻¹⁵	1
a ₁₄	1,77636 · 10 ⁻¹⁵	1,30869	1,35736 · 10 ⁻¹⁵	1
a ₂₃	- 4,42461	1,30869	-3,38096	0,00121742
a ₂₄	- 2,65746	1,30869	-2,03064	0,0463243
a ₃₄	14,8132	1,30869	11,3191	4,13002 · 10 ⁻¹⁷
a ₁₁	- 4,90715 · 10 ⁻¹⁴	1,85076	- 2,65142 · 10 ⁻¹⁴	1
a ₂₂	- 1,71746	1,85076	-0,927976	0,356801
a ₃₃	16,1687	1,85076	8,73622	1,28081 · 10 ⁻¹²
a ₄₄	- 1,39624	1,85076	-0,754414	0,453284
a ₀₀	19,0753	2,61737	7,28796	4,97078 · 10 ⁻¹⁰

У результаті аналізу табл. 2.3, відповідного скорочення незначущих коефіцієнтів і розкодування рівняння (2.39) остаточно маємо залежність швидкості зміни тиску від факторів досліджень

$$\begin{aligned} \frac{\Delta p}{\Delta t} = & 37,6294 - 0,226911 D_m + 1,75826 p_w - 0,00763316 p_w^2 - \\ & - 15,3799 t_{inj} - 0,0737435 p_w t_{inj} + 1,01054 t_{inj}^2 - 3,37464 t_p - \\ & - 0,0442911 p_w t_p + 0,925824 t_{inj} t_p - 0,0872651 t_p^2. \end{aligned} \quad (2.40)$$

Мінімальне значення швидкості зміни тиску $\Delta p/\Delta t = 1,81$ кПа/с досягається при $D = 70$ мм, $p_w = 45$ кПа, $t_{inj} = 8,79$ с, $t_p = 1,0$ с. Фіксуючи почергово фактори досліджень на зазначеному рівні, побудовані на рис. 2.22–2.23, графічні інтерпретації залежності (2.40).

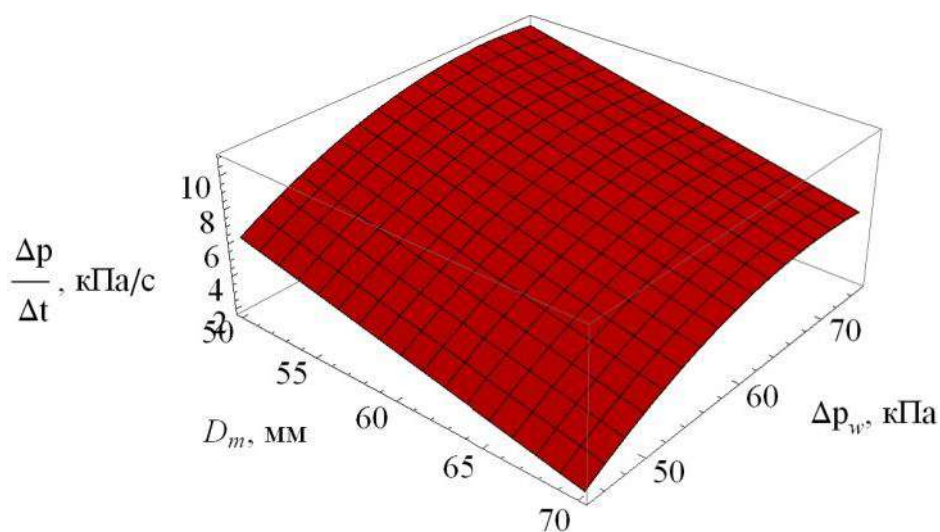


Рисунок 2.22 – Залежність значення швидкості зміни тиску $\Delta p/\Delta t$ від діаметра молокопроводу D_m і робочого вакуумметричного тиску p_w

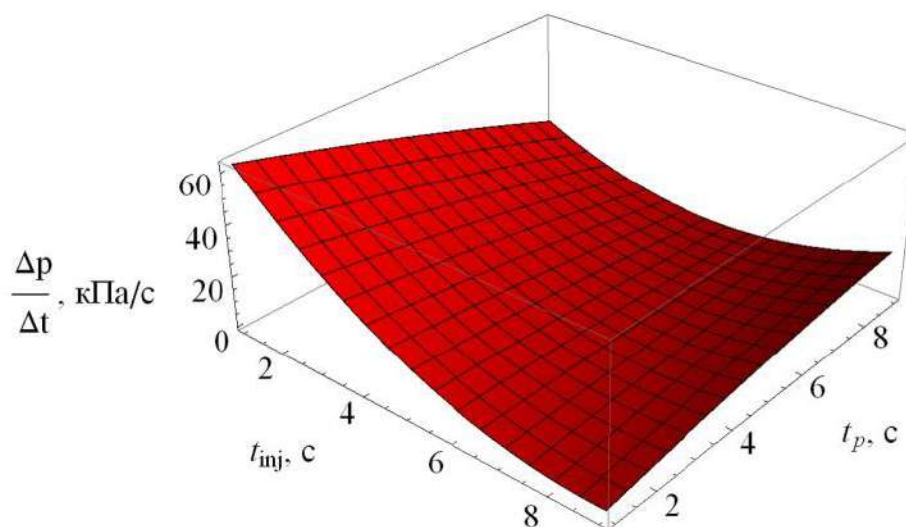


Рисунок 2.23 – Залежність значення швидкості зміни тиску $\Delta p/\Delta t$ від тривалості такту впуску повітряного інжектора t_{inj} і тривалості паузи повітряного інжектора t_p

Фіксуючи значення діаметра молокопроводу D_m на рівнях 50 мм, 60 мм і 70 мм отримуємо раціональні значення інших факторів за умови мінімізації швидкості зміни тиску:

$$\frac{\Delta p}{\Delta t} (D = 50 \text{ мм}, p_w = 75 \text{ кПа}, t_{inj} = 6,22 \text{ с}, t_p = 9,0 \text{ с}) = 8,73 \text{ кПа/с},$$

$$\frac{\Delta p}{\Delta t} (D = 60 \text{ мм}, p_w = 75 \text{ кПа}, t_{inj} = 6,22 \text{ с}, t_p = 9,0 \text{ с}) = 6,47 \text{ кПа/с}, \quad (2.41)$$

$$\frac{\Delta p}{\Delta t} (D = 70 \text{ мм}, p_w = 75 \text{ кПа}, t_{inj} = 6,22 \text{ с}, t_p = 9,0 \text{ с}) = 4,2 \text{ кПа/с}.$$

Відповідну графічну інтерпретацію залежності (2.40) при умовах (2.41) показано на рис. 2.24-2.25.

Аналіз рис. 2.22–2.25 і залежності (2.40) дає змогу стверджувати, що раціональні значення робочого вакуумметричного тиску $p_w = 75$ кПа, тривалості такту впуску повітряного інжектора $t_{inj} = 6,22$ с і тривалості паузи повітряного інжектора $t_p = 9,0$ с при умові мінімізації швидкості зміни тиску не залежать від діаметра молокопроводу.

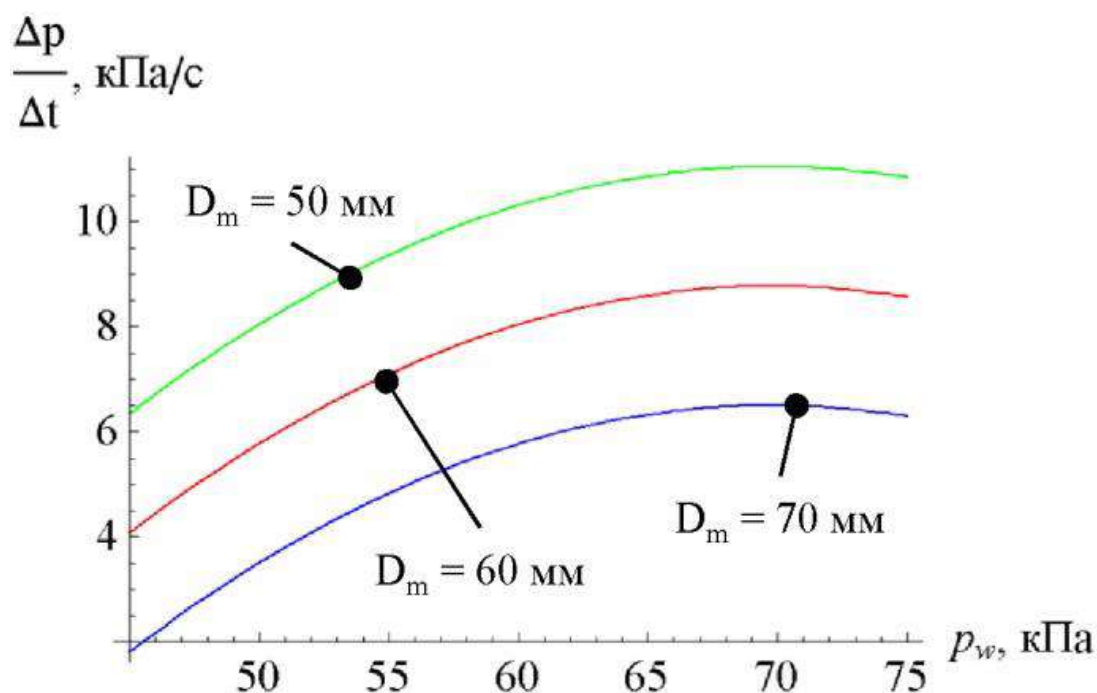


Рисунок 2.24 – Залежність значення швидкості зміни тиску $\Delta p/\Delta t$ при різних значеннях діаметра молокопроводу D_m від робочого вакуумметричного тиску p_w

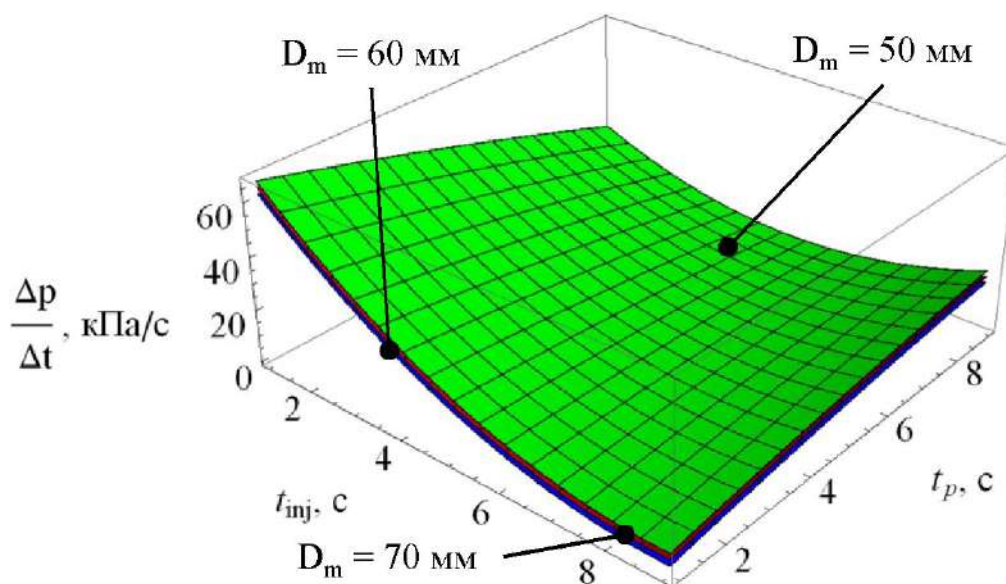


Рисунок 2.25 – Залежність значення швидкості зміни тиску $\Delta p/\Delta t$ при різних значеннях діаметра молокопроводу D_m від тривалості такту впуску повітряного інжектора t_{inj} і тривалості паузи повітряного інжектора t_p

У зв'язку з тим, що раціональні параметри (2.37) і (2.40) відрізняються, то необхідно вирішити компромісну задачу, яка зводиться до мінімізації значення товщини шару молока на стінці молокопроводу і швидкості зміни тиску:

$$\begin{cases} h_m(D_m, p_w, t_{inj}, t_p) \rightarrow \min, \\ \frac{\Delta p}{\Delta t}(D_m, p_w, t_{inj}, t_p) \rightarrow \min. \end{cases} \quad (2.42)$$

Вирішуючи систему рівнянь (2.42) у програмному пакеті Mathematica для різних значень діаметра молокопроводу, отримуємо відповідні раціональні параметри режимів роботи інжектора:

$$\begin{aligned} \text{для } D=50 \text{ мм} &\rightarrow p_w=45,0 \text{ кПа}, t_{inj}=3,8 \text{ с}, t_p=2,9 \text{ с}, h_m=0,243 \text{ мм}, \frac{\Delta p}{\Delta t}=27,38 \text{ кПа/с}, \\ \text{для } D=60 \text{ мм} &\rightarrow p_w=57,5 \text{ кПа}, t_{inj}=3,6 \text{ с}, t_p=2,5 \text{ с}, h_m=0,306 \text{ мм}, \frac{\Delta p}{\Delta t}=35,32 \text{ кПа/с}, \\ \text{для } D=70 \text{ мм} &\rightarrow p_w=74,5 \text{ кПа}, t_{inj}=3,4 \text{ с}, t_p=2,1 \text{ с}, h_m=0,406 \text{ мм}, \frac{\Delta p}{\Delta t}=43,42 \text{ кПа/с}. \end{aligned} \quad (2.43)$$

2.7 Фізико-математична модель роботи гідроінжектора системи промивання

Шостим етапом теоретичних досліджень є обґрунтування режимів роботи гідроінжектора системи промивання доїльної установки. Гідроінжектор представляє собою насадку із отвором круглої форми, через яку під тиском подається мийний розчин, створюючи при цьому струмінь. Тому теоретичні дослідження побудовані на основі розрахунку параметрів струменів мийного розчину та їх дії на поверхні молокопровідної системи із молочними відкладеннями.

На рис. 2.26 представлена схема зміни структури струменя мийного розчину з віддаленням від сопла. Швидкісний потік крапель рідини, які корисні для процесу промивання, знаходяться в перехідній частині структури струменя.

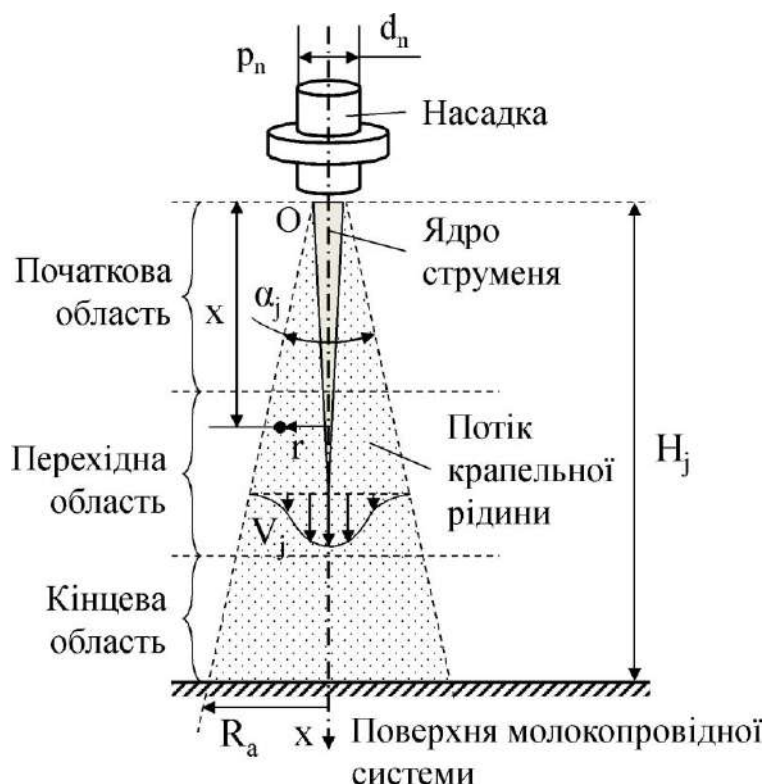


Рисунок 2.26 – Схема зміни структури струменя мийного розчину з віддаленням від сопла

На початковій ділянці струменя мийного розчину відбувається падіння швидкості по осі струменя Ox і по перетину вздовж радіусу r . За дослідженнями [186] довжина початкової ділянки X_i визначається виразом

$$X_i = \frac{0,67 d_n}{a} \frac{d_n}{2}, \quad (2.44)$$

де d_n – внутрішній діаметр насадки, м;

a – коефіцієнт структури струменя (для осісиметричних струменів $a \approx 0,007$).

Зміна швидкості по осі струменя V_{j0} на перехідній ділянці для осісиметричного струменя визначається залежністю [186]

$$V_{j0} = \frac{0,96}{\frac{2ax}{d_n} + 0,29} V_n, \quad (2.45)$$

де V_n – швидкість потоку рідини у насадці, м/с;

x – відстань від початкового перетину струменя, м.

Поперечний профіль швидкості на перехідній ділянці струменя має форму, близьку до кривої Гауса. Швидкість у довільній точці течії на перехідній ділянці струменя визначається залежністю [186]

$$V_j = V_{j0} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{r}{ax}\right)^2\right], \quad (2.46)$$

де r – відстань по нормалі від осі до розглянутої точки, м.

Радіус струменя R_t на основній ділянці визначається залежністю [186]

$$R_t = \left(3,4 \frac{2ax}{d_n} + 1\right) \frac{d_n}{2}, \quad (2.47)$$

Середню по перерізу швидкість \bar{V}_j в довільному перерізі струменя можна отримати на підставі залежностей (2.45)–(2.47), взявши інтеграл на площі перерізу і розклавши експоненту в ряд Маклорена до першого наближення:

$$\begin{aligned} \bar{V}_j(x) &= \frac{1}{A_j} \int_{A_j} V_j dA_j = \frac{2\pi \cdot 0,96 V_n}{\pi R_t^2 \left(\frac{2ax}{d_n} + 0,29\right)} \int_0^{R_t} r \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{r}{ax}\right)^2\right] dr = \\ &= \frac{1,92 V_n a^2 x^2 d_n}{(3,4ax + 0,5d_n)^2 (2ax + 0,29d_n)}. \end{aligned} \quad (2.48)$$

де A – площа поперечного перерізу, м².

Щоб уникнути ускладнень розрахунку ефектів зсувного тиску, які можуть бути викликані рухом струменя уздовж поверхні, припускаємо, що струмінь не рухається, тобто процес є стаціонарним. Отже, враховуючи прийняте спрощення, стаціонарний струмінь надає тільки нормальний тиск на ділянку контакту.

Враховуючи структуру струменя на рис. 2.26, передбачається, що імпульс струменя мийного розчину залишається постійним між насадкою і точкою удару із поверхнею молокопровідної системи. Зміну імпульсу струменя мийного розчину M можна представити у вигляді

$$M = \int_{A_j} V_j (\rho_1 V_j dA) \quad (2.49)$$

де ρ_1 – густина мийного розчину, кг/м^3 .

Закон збереження імпульсу струменя мийного розчину для виходу його з насадки і для ділянки контакту має вигляд

$$\rho_1 V_n^2 \left(\frac{\pi d_n^2}{4} \right) = \rho_1 \left(\overline{V_j}(H_j) \right)^2 (\pi R_a^2), \quad (2.50)$$

або $V_n d_n = 2R_a \overline{V_j}(H_j),$

де R_a – радіус області удару струменя, м;

H_j – відстань між насадкою і поверхнею молокопровідної системи, м.

Підставляючи в (2.50) вираз для $\overline{V_j}(H_j)$ з (2.48) отримуємо вираз для радіусу області удару струменя R_a

$$R_a = \frac{(3,4ax + 0,5d_n)^2 (2ax + 0,29d_n)}{3,84a^2 x^2}. \quad (2.51)$$

З рівняння (2.48) і закону Бернуллі ($p_a = \frac{\rho_1}{2} \left(\overline{V_j}(H_j) \right)^2$) отримуємо

$$p_a = \frac{\rho_1}{2} V_n^2 \left(\frac{1,92a^2 x^2 d_n}{(3,4ax + 0,5d_n)^2 (2ax + 0,29d_n)} \right)^2 \quad (2.52)$$

де p_a – тиск струменя на поверхню молокопровідної системи, Па.

У свою чергу швидкість потоку рідини у насадці визначається так само з закону Бернуллі

$$V_n = \sqrt{\frac{2p_n}{\rho_1}}, \quad (2.53)$$

де p_n – тиск на виході насадки, Па.

Підставляючи (2.53) в (2.52) остаточно маємо

$$p_a = p_n \left(\frac{1,92a^2 x^2 d_n}{(3,4ax + 0,5d_n)^2 (2ax + 0,29d_n)} \right)^2. \quad (2.54)$$

Графічна інтерпретація залежностей (2.51) і (2.54) представлені на рис. 2.27 і 2.28 відповідно.

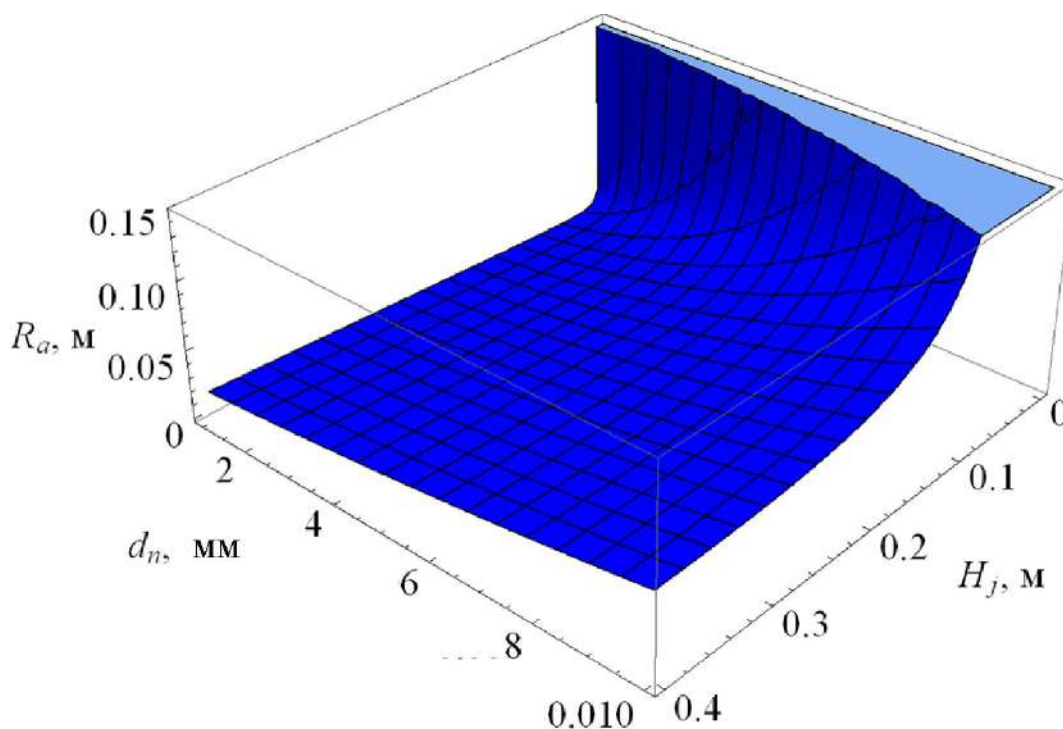


Рисунок 2.27 – Залежність радіусу області удару струменя R_a від внутрішнього діаметра насадки d_n і відстані до неї H_j

Для ефективної роботи гідроінжектора у вигляді насадки із отвором круглої форми необхідно, щоб тиск на виході насадки p_n був максимальним. Використовуючи елементну базу молочно-доїльного обладнання за базовий генератор гідравлічного тиску обрано молочний насос відцентрового типу низького тиску, який максимум може видавати 300 кПа (≈ 3 атм).

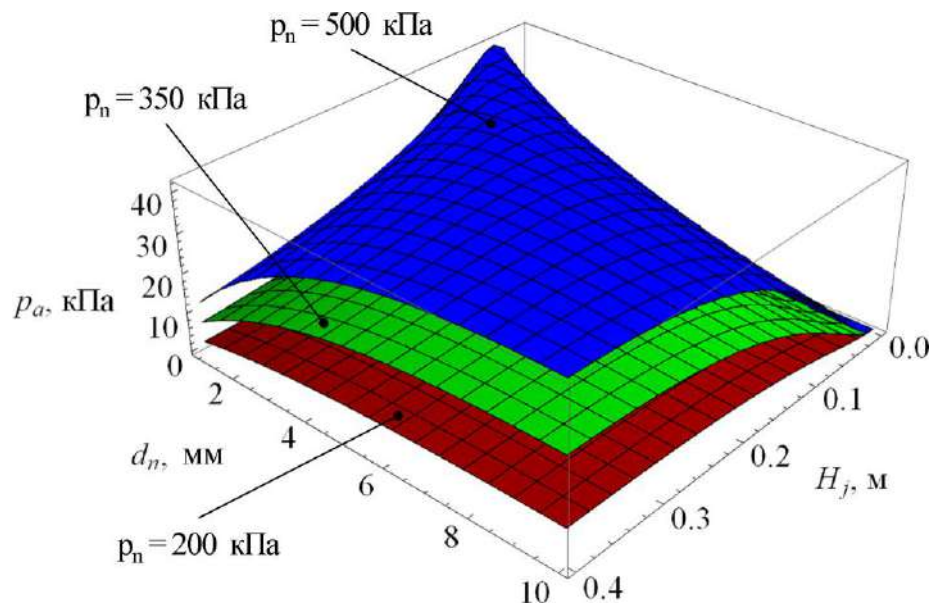


Рисунок 2.28 – Залежність тиску струменя на поверхню молокопровідної системи p_a від внутрішнього діаметра насадки d_n і відстані до неї H_j при різних значеннях тиску на виході насадки p_n

Для визначення раціональних значень внутрішнього діаметра насадки d_n і відстані до неї H_j вирішимо в програмному пакеті Mathematica (додаток E) задачу максимізації тиску струменя на поверхню молокопровідної системи p_a

$$p_a(d_n = 2,1 \text{ мм}, H_j = 0,166 \text{ м}) = 42,0 \text{ кПа} . \quad (2.55)$$

При цьому значення радіуса ділянки удару струменя R_a становить 0,0236 м. Розрахункова сила дії струменя мийного розчину за формулою $F_a = p_a \pi R_a^2 = 74 \text{ Н}$ перевищує значення сили адгезії краплі молочного відкладення на поверхні молокопровідної системи $F_c = 42 \text{ Н}$, яке розраховано за формулою (2.4).

2.8 Висновки з розділу

1. У результаті теоретичних досліджень явища адгезії між відкладеннями і поверхнею молокопровідної лінії встановлено залежність (2.8) найменшої допустимої швидкості руху мийного розчину від фізико-механічних властивостей молочних відкладень (краєвих кутів β , γ і поверхневого натягу

між миючим розчином і відкладенням σ_{ml}) при різних діаметрах молокопровідної лінії D_m .

2. За результатами теоретичних досліджень доповнено фізико-математичний апарат руху двофазного мийного розчину молокопровідною лінією, який оснований на рівняннях принципу суперпозиції сил і, як наслідок, тисків, неперервності течії, законів збереження мас, імпульсу і енергії. Оскільки отримана система диференціальних рівнянь є досить складною для аналітичного розрахунку, то дослідження течії двофазного мийного розчину молокопровідною лінією доїльної установки проводилося з використанням програмного пакету STAR-CCM+, який реалізовано на основі методу кінцевих елементів.

3. У результаті попереднього чисельного моделювання процесу промивання молокопровідної лінії доїльної установки із використанням інжектора в програмному пакеті STAR-CCM+ було визначено динаміку зміни вакуумметричного тиску на відстані від інжектора ($p(0\text{ м})$, $p(1\text{ м})$, $p(2\text{ м})$, $p(3\text{ м})$, $p(4\text{ м})$, $p(5\text{ м})$) і динаміку зміни вмісту компонентів багатофазного середовища (мийний розчин α_f , повітря α_g , молоко α_m) для чотирьох варіантів: інжектор постійно закритий, інжектор постійно відкритий й інжектор періодично відкривається (1 с і 9 с) і закривається (1 с і 9 с). Встановлено, що застосування інжектора періодичної дії дозволяє зменшити вміст молока в молокопровідній лінії швидше і на більше значення, що свідчить про якісніший процес промивання.

4. Доповнення фізико-математичного апарата явища гідравлічного удару для періодично працюючого інжектора повітря системи промивання дозволило встановити, що швидкість зміни тиску залежить від швидкостей і концентрацій фаз двофазного мийного розчину, тобто від його режиму течії, та швидкості розповсюдження ударної хвилі. Тому в якості критерію дії гідравлічного удару обрано швидкість зміни тиску $\Delta p/\Delta t$.

5. Внаслідок чисельного моделювання процесу промивання молокопровідної лінії доїльної установки із використанням інжектора в

програмному пакеті STAR-CCM+ було встановлено залежності швидкості зміни тиску $\Delta p/\Delta t$ (2.40) і зміни значення товщини шару молока на стінці молокопроводу h_m (2.37) при різних значень його діаметра D_m від робочого вакуумметричного тиску p_w , тривалості такту впуску повітряного інжектора t_{inj} і тривалості паузи повітряного інжектора t_p .

6. Вирішуючи компромісну задачу, яка зводиться до мінімізації значення товщини шару молока на стінці молокопроводу і швидкості зміни тиску для різних значень діаметра молокопроводу, отримані відповідні раціональні параметри режимів роботи інжектора: при $D = 50$ мм $\rightarrow p_w = 45,0$ кПа, $t_{inj} = 3,8$ с, $t_p = 2,9$ с, $h_m = 0,243$ мм, $\Delta P/\Delta t = 27,38$ кПа/с, при $D = 60$ мм $\rightarrow p_w = 57,5$ кПа, $t_{inj} = 3,6$ с, $t_p = 2,5$ с, $h_m = 0,306$ мм, $\Delta P/\Delta t = 35,32$ кПа/с, при $D = 70$ мм $\rightarrow p_w = 74,5$ кПа, $t_{inj} = 3,4$ с, $t_p = 2,1$ с, $h_m = 0,406$ мм, $\Delta P/\Delta t = 43,42$ кПа/с.

7. Розроблено фізико-математичну модель процесу роботи гідроінжектора системи промивання, що створює струмінь мийного розчину направленої дії для очищення внутрішніх поверхонь молокопровідної системи. Внаслідок теоретичних досліджень отримані залежності радіуса ділянки удару струменя R_a (2.51) і його тиску на поверхню молокопровідної системи p_a (2.54) від внутрішнього діаметра насадки d_n , відстані до неї H_j при різних значеннях тиску на виході насадки p_n . Використовуючи елементну базу молочно-доїльного обладнання за базовий генератор гідравлічного тиску обрано молочний насос відцентрового типу низького тиску (≈ 3 атм). При цьому $d_n = 2,1$ мм, $H_j = 0,166$ м, $R_a = 0,0236$ м.

Основні наукові результати розділу опубліковано в працях автора [187, 188, 189, 190, 191].

РОЗДІЛ 3

ПРОГРАМА І МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

3.1 Програма експериментальних досліджень

Метою експериментальних досліджень є доповнення математичних моделей переміщення двофазного мийного розчину молокопровідною лінією доїльної установки та перевірка адекватності отриманих залежностей впливу режимних і технологічних параметрів техніко-технологічного забезпечення системи промивання на ефективність процесу очищення доїльних установок.

Програмою досліджень передбачено:

– розробити і дослідити фотодатчик визначення забрудненості молокопровідної лінії;

– провести експериментальні дослідження режимів роботи повітряного інжектора системи промивання молокопровідної лінії доїльної установки;

– провести експериментальні дослідження режимів роботи гідроінжектора (насадки для створення струменя мийного розчину) системи промивання елементів доїльної установки.

Перелік параметрів і характеристик доїльних установок, які підлягають контролю і регулюванню, регламентуються міжнародними стандартами ISO 3918 [192], ISO 5707 [193], ISO 6690 [194]. У зазначених стандартах передбачені методи оцінки функціонування молочних та вакуумних систем молочно-доїльних машин, які реалізуються в процесі доїння. Однак немає єдиної загальної методики оцінки стану системи промивання доїльної установки. Тому для подальших досліджень запропоновані такі методики експериментальних досліджень, які можна використовувати не тільки для визначення відповідних закономірностей і раціональних режимних та технологічних параметрів системи промивання, а й для оцінки їх техніко-технологічної придатності.

3.2 Методика досліджень фотодатчика визначення забрудненості молокопровідної лінії

Для періодичної оцінки якості технологічного процесу промивання молокопровідної лінії доїльної установки без участі оператора машинного доїння розроблено відповідне обладнання для автоматичного визначення її забрудненості.

Основним елементом обладнання для автоматичного визначення забрудненості молокопровідної лінії доїльної установки є фотодатчик, схема якого представлена на рис. 3.1, а загальний вигляд на рис. 3.2. Також до складу обладнання входить персональний комп'ютер, до якого підключено безпосередньо фотодатчик на основі пристрою Arduino Uno ATmega328, який виконує функцію керування світлодіода LED 1Вт 100 Лм через підлаштовний резистор 5кОм. До аналогового входу пристрою Arduino Uno ATmega328 підключено відомий резистор 10 кОм, 0,1 %, який з'єднується із заземленням (GND) і фоторезистором GM20539, що підключено до напруги 5 В.

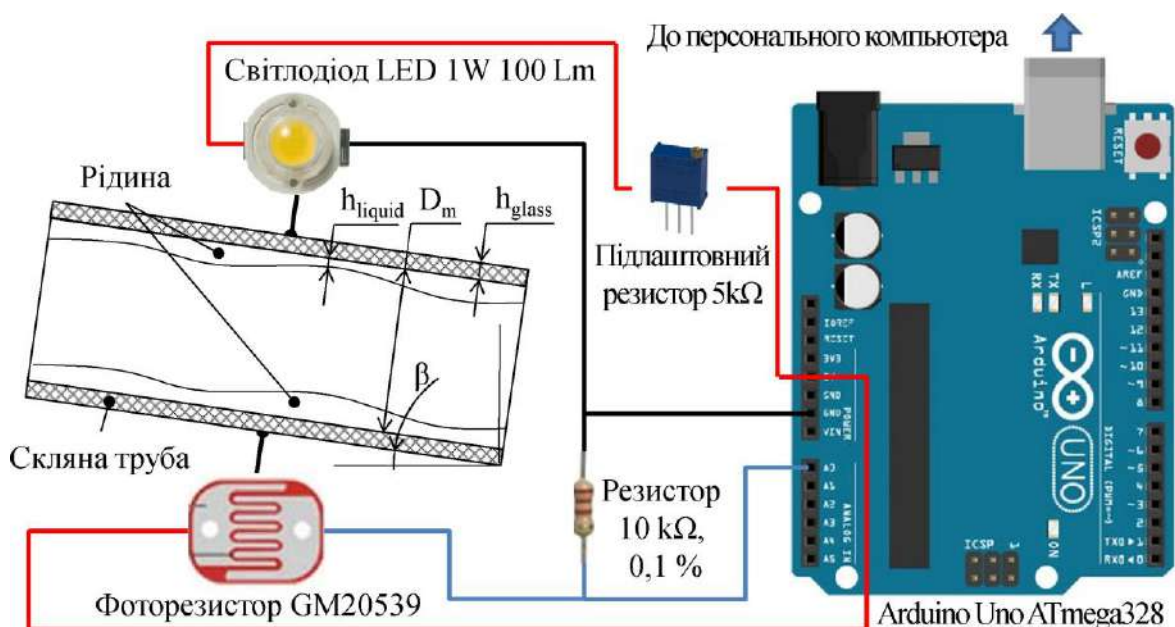
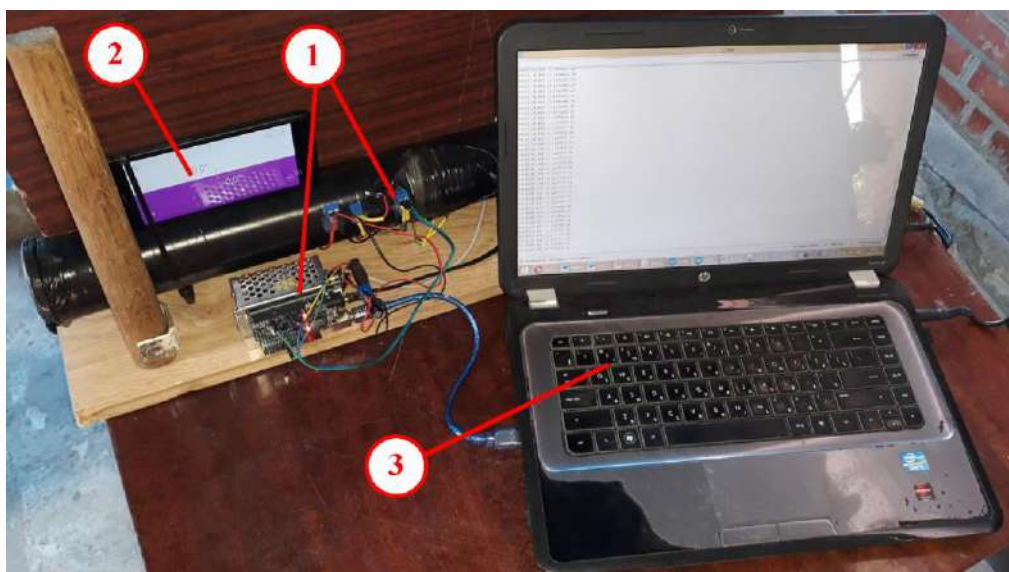


Рисунок 3.1 – Схема фотодатчика для визначення залежності інтенсивності світла, що поглинається молоком від товщини його шару

Фоторезистор закріплений внизу скляної труби, яка розміщена під кутом β до горизонту, а навпроти нього встановлений світлодіод. Скляна труба повністю ізольована від зовнішнього освітлення чорним непрозорим матеріалом.

Для проведення досліджень роботи розробленого обладнання необхідно змінювати кут нахилу скляної труби. При цьому контроль за зміною цього кута виконується з використанням цифрового кутоміра.

Обладнання працює наступним чином. Скляна труба заповнюється середовищем (повітря, молоко, мийний розчин). Далі вмикається світлодіод, світло від якого проходить крізь стінки скляної труби і середовище і потрапляє на фоторезистор. При цьому опір фоторезистора змінюється і визначається з використанням пристрою Arduino Uno ATmega328. Отримані дані через кожні 2 с передаються на персональний комп'ютер.



1 – фотодатчик; 2 – цифровий кутомір; 3 – персональний комп'ютер

Рисунок 3.2 – Загальний вигляд обладнання для визначення залежності інтенсивності світла, що поглинається молоком від товщини його шару

Перед початком опису процесу дослідження встановимо деякі залежності.

Розглянемо як заповнюється горизонтальна скляна труба рідиною заданого об'єму (рис. 3.3). Згідно з [195] об'єм рідини становить:

$$V = L \left(R_m^2 \operatorname{Arc} \cos \left(1 - \frac{h}{R_m} \right) - (R_m - h) \sqrt{2R_m h - h^2} \right), \quad (3.1)$$

де L – довжина скляної труби, $L = 0,2$ м;

R_m – внутрішній радіус скляної труби, $R_m = 0,025$ м;

h – товщина шару рідини в скляній трубці, м (рис. 3.3).

Вирішуючи рівняння (3.1) в програмному пакеті Mathematica відносно h отримуємо відповідну залежність, графік якої побудовано на рис. 3.4.

Відомо, що залежність ослаблення інтенсивності світла при поширенні його в поглинаючих середовищах підпорядковується закону Бугера-Ламберта-Бера [196]. У нашому випадку їх три: скло, повітря і рідина (молоко або мийний розчин). Відповідно маємо

$$I(h) = I_0 \exp(-k_\lambda h), \quad (3.2)$$

де $I(h)$ – інтенсивність світла, що пройшло шар середовища товщиною h ;

I_0 – інтенсивність світла на вході в речовину;

k_λ – показник поглинання світла середовищем, м^{-1} [197].

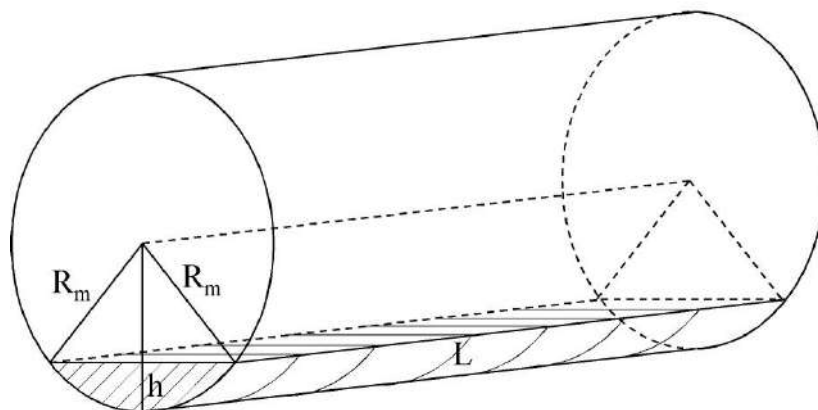


Рисунок 3.3 – Схема заповнення горизонтальної труби рідиною заданого об'єму

У разі проходження світла крізь скляну трубу, яка заповнена повітрям, інтенсивність світла I_1 можна записати у вигляді:

$$I_1 = I_0 \exp(-2k_{\lambda_{\text{glass}}} h_{\text{glass}} - k_{\lambda_{\text{air}}} D_m). \quad (3.3)$$

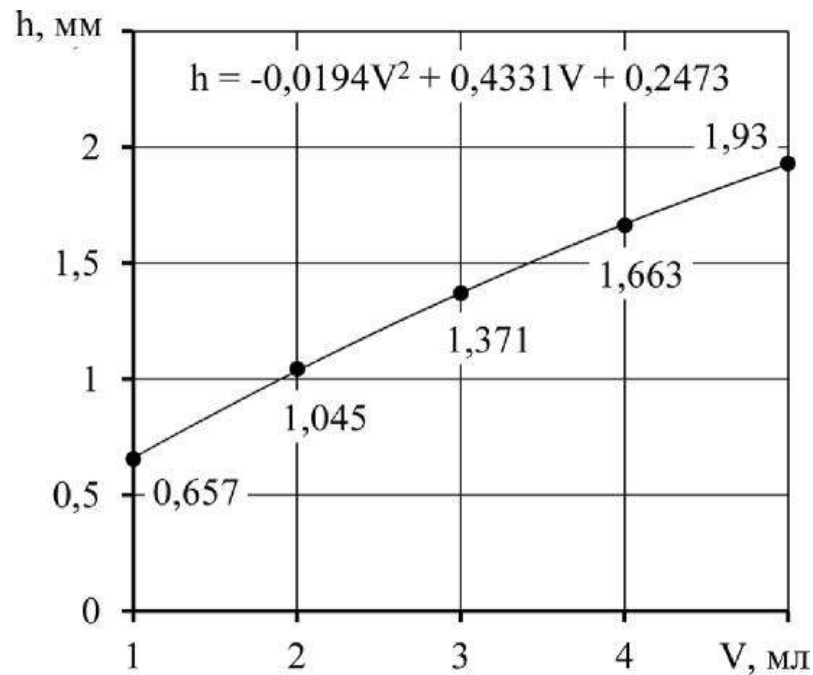


Рисунок 3.4 – Залежність товщини шару рідини від її об'єму

Якщо на стінках спостерігається адгезія молока, то інтенсивність світла I_2 буде представлено у вигляді:

$$I_2 = I_0 \exp(-2k_{\lambda_{\text{glass}}} h_{\text{glass}} - k_{\lambda_{\text{air}}} (D_m - h_{\text{milk}}) - k_{\lambda_{\text{milk}}} h_{\text{milk}}), \text{ або} \quad (3.4)$$

$$I_2 = I_1 \exp(k_{\lambda_{\text{air}}} h_{\text{milk}} - k_{\lambda_{\text{milk}}} h_{\text{milk}}).$$

Приймаючи показник поглинання світла повітрям $k_{\lambda_{\text{air}}} = 10^{-3} \rightarrow 0$, маємо рівняння (3.4) у вигляді

$$I_2 = I_1 \exp(-k_{\lambda_{\text{milk}}} h_{\text{milk}}). \quad (3.5)$$

Оскільки фоторезистор обернено пропорційно змінює свій опір R залежно від інтенсивності падаючого світла I , то перепишемо рівняння (3.5) у вигляді

$$R_2 = R_1 \exp(k_{\lambda_{\text{milk}}} h_{\text{milk}}), \text{ або } h_{\text{milk}} = \frac{1}{k_{\lambda_{\text{milk}}}} \ln\left(\frac{R_2}{R_1}\right). \quad (3.6)$$

Процес дослідження проводився в два етапи.

Перший етап починається із встановлення скляної трубки за допомогою цифрового кутоміра горизонтально. Далі за допомогою підлаштовного резистора на фотодатчику і персонального комп'ютера досягаємо такої

інтенсивності світла, яке розповсюджується від світлодіода, щоб фоторезистор мав одне із значень опору 10 кОм, 15 кОм, 20 кОм, 25 кОм, 30 кОм і 35 кОм. Цей опір відповідає інтенсивності світла I_1 для випадку проходження світла крізь скляну трубу, яка заповнена повітрям. Далі скляна труба заповнюється певним об'ємом молока: 1 мл, 2 мл, 3 мл, 4 мл, 5 мл. Для рівномірного розтікання по всій довжині трубки експозиція становить 15 хв. Після цього з використанням персонального комп'ютера і фотодатчика вимірюється значення опору фоторезистора, на яке потрапило світло, що частково поглиналося молоком. У результаті необхідно встановити залежність товщини шару молока від опору фоторезистора.

Другий етап починається із встановлення скляної трубки за допомогою цифрового кутоміра на один з кутів $2,5^\circ$, 5° , $7,5^\circ$, 10° . Далі за допомогою підлаштовного резистора на фотодатчику і персонального комп'ютера досягаємо такої інтенсивності світла, яке розповсюджується від світлодіода, щоб опір фоторезистора становив 10 кОм. Цей опір відповідає інтенсивності світла I_1 для випадку проходження світла крізь скляну трубу, заповнену повітрям. Далі, з найвищого краю скляної труби (рис. 3.1) подається 5 мл молока. Після цього запускається процес вимірювання опору фоторезистора і фіксація отриманих даних. У результаті необхідно встановити динаміку опору фоторезистора і відповідного значення товщини шару молока в процесі його стікання скляною трубою.

3.3 Методика експериментальних досліджень режимів роботи повітряного інжектора системи промивання молокопроводів доїльної установки

Експериментальні дослідження проведені на експериментальному стенді на базі лабораторної доїльної установки із наявними верхнім і нижнім молокопроводами із апаратом промивання виробництва ТДВ «Брацлав». Схему експериментального стенду подано на рис. 3.5.

До складу стенду входить: лабораторна доїльна установка (в тому числі молокопровід і вакуумпровід); повітряний інжектор, електромагнітний клапан; датчик масових витрат повітря ДМВП; чотири датчика вакуумметричного тиску MPX5100DP, три з яких розташовані на молокопроводі на відстані 2 м один від одного, а один – вакуум проводі, і підключені до модуля АЦП/ЦАП ZET 210; фотодатчик визначення забрудненості молокопровідної лінії, який складається зі світлодіоду LED 1W 100 Lm, фоторезистора GM20539, резистора $R_1 = 10\text{ k}\Omega$, підлаштовного резистора $R_2 = 5\text{ k}\Omega$, плати керування Arduino Uno ATmega328; блока живлення. Загальний вигляд експериментального стенду представлено на рис. 3.6, а системи промивання на рис. 3.7.

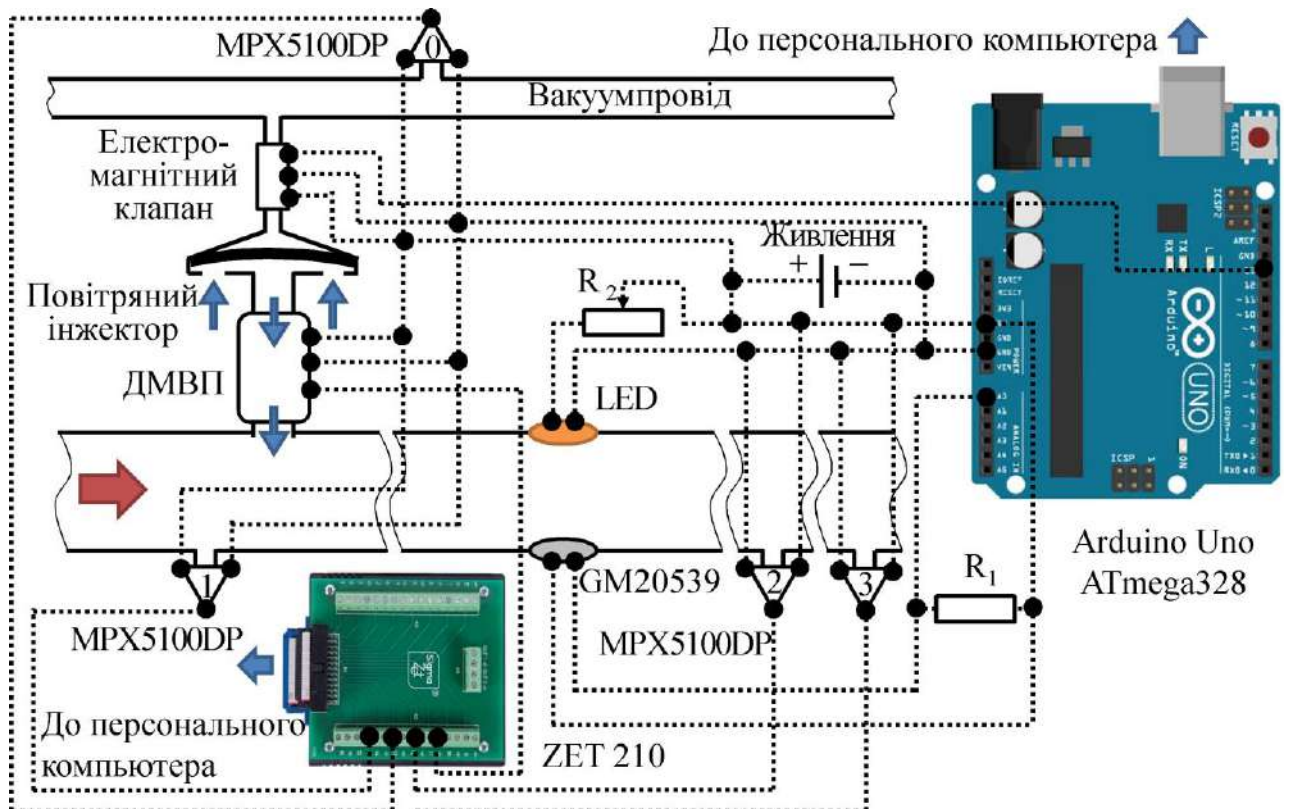
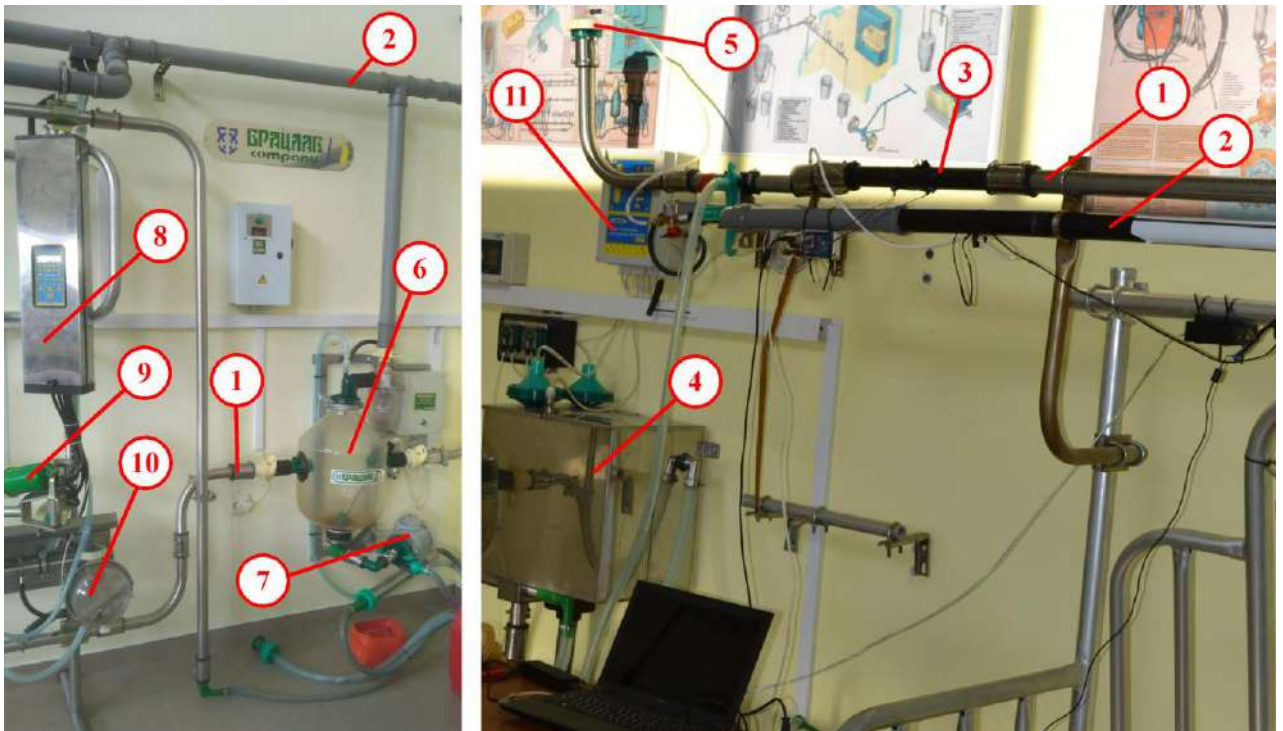


Рисунок 3.5 – Схема експериментального стенду для дослідження режимів роботи повітряного інжектора системи промивання молокопроводів доїльної установки



1 – молокопровідна система; 2 – вакуумна система; 3 – фотодатчик визначення забрудненості молокопровідної лінії; 4 – бак з миючим розчином; 5 – повітряний інжектор; 6 – молокозбірник; 7 – молочний насос; 8 – блок керування процесом доїння; 9 – доїльний апарат із маніпулятором; 10 – індивідуальний лічилотник молока; 11 – автомат промивання

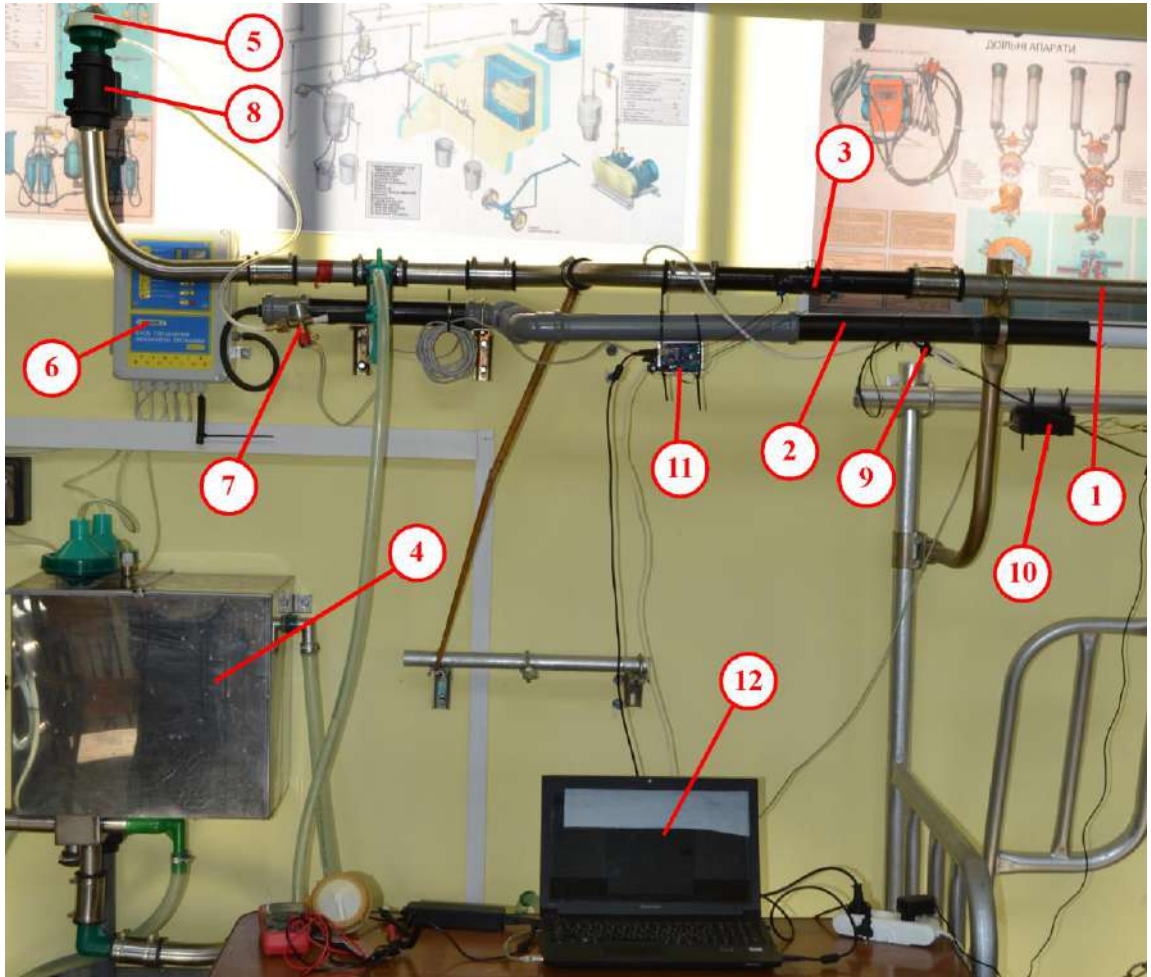
Рисунок 3.6 – Загальний вигляд експериментального стенду для дослідження режимів роботи повітряного інжектора системи промивання молокопровідної лінії доїльної установки

Факторами експериментальних досліджень є робочий вакуумметричний тиск p_w , тривалість такту впуску 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. 3.1.

Робочий вакуумметричний тиск p_w встановлюється на лабораторній доїльній установці з використанням вакуумрегулятора (рис. 3.8) і контролюється датчиком вакуумметричного тиску MPX5100DP. Рівняння калібрувальної характеристики датчика вакуумметричного тиску MPX5100DP має вигляд [198]

$$p = \frac{1}{9} \left(\frac{U_p}{5} - 0,04 \right); \quad (3.7)$$

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



1 – молокопровідна система; 2 – вакуумна система; 3 – фотодатчик визначення забрудненості молокопровідної лінії; 4 – бак з миючим розчином;
 5 – повітряний інжектор; 6 – автомат промивки; 7 – електромагнітний клапан;
 8 – датчик масових витрат повітря ДМВП; 9 – датчик вакуумметричного тиску MPX5100DP; 10 – модуль АЦП/ЦАП ZET 210; 11 – плата керування Arduino Uno ATmega328; 12 – персональний комп'ютер

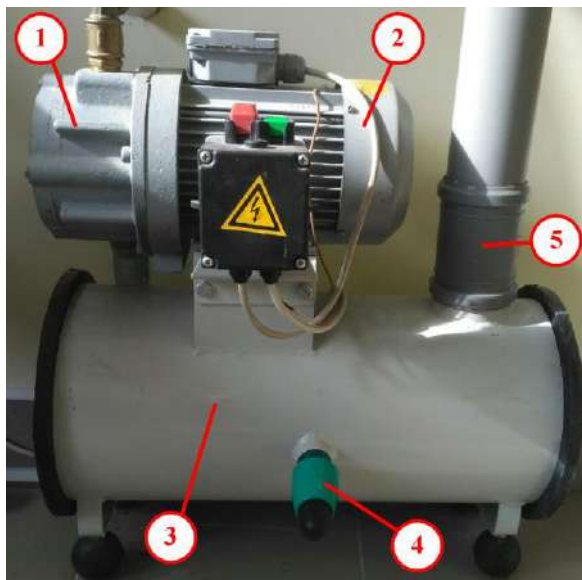
Рисунок 3.7 – Загальний вигляд системи промивання молокопровідної лінії доїльної установки

Таблиця 3.1 – Межі та інтервали факторів експериментальних досліджень

Рівень	Робочий вакуумметричний тиск p_w , кПа (x_1)	Тривалість такту впуску 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 впуску t_{inj} і паузи t_p повітряного інжектора встановлюється за допомогою електромагнітного клапана, який приєднано до плати керування Arduino Uno ATmega328. Похибка тактів впуску і паузи складає ± 1 мс.



1 – вакуумний насос; 2 – електродвигун; 3 – вакуум-болон;
4 – вакуумрегулятор; 5 – вакуумна система

Рисунок 3.8 – Вакуум-силова установка із вакуумрегулятором

Об'ємні витрати повітря через повітряний інжектор Q_V встановлюються шляхом перекидання отворів на повітряному інжекторі і контролюється датчиком масових витрат повітря ДМВП BOSN 280218037. Перерахунок масових витрат повітря Q_M до об'ємних Q_V здійснюється за такою формулою:

$$Q_V = \frac{1000}{60} \frac{Q_M}{(101,325 - p_w) \mu_a} R_a T_a ; \quad (3.8)$$

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

T_a – температура повітря, К;

p_w – робочий вакуумметричний тиск, кПа;

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 [198]:

$$Q_M = 0,0022U_M + 0,0022U_M - 0,0044 ; \quad (3.9)$$

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

Перед кожним дослідом фотодатчик знімали з лабораторної доїльної 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 промивання в режимі безперервного промивання впродовж 30 хв.

Упродовж 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 товщина шару молока h_{milk} на стінці труби:

$$\theta_{\text{milk}} = \frac{h''_{\text{milk}} - h'_{\text{milk}}}{h'_{\text{milk}}} \cdot 100\% . \quad (3.10)$$

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 [199] товщина шару молока на стінці труби визначалася з урахуванням значення опору на фотодатчику за формулою

$$h_{\text{milk}} = \frac{1}{k_{\lambda\text{milk}}} \ln\left(\frac{R_f}{R_0}\right), \quad (3.11)$$

де R_f – поточне значення опору на фотодатчику, Ом;

R_0 – початкове значення опору на фотодатчику, Ом;

$k_{\lambda\text{milk}}$ – показник поглинання світла молоком, який було визначено в результаті лабораторних досліджень [199], 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 впуску і паузи повітряного інжектора (швидкість зміни тиску) $\frac{\Delta p}{\Delta t}$, яке розраховується за формулою

$$\frac{\Delta p}{\Delta t} = \frac{p_{\text{max}} - p_{\text{min}}}{t_{\text{inj}} + t_p}. \quad (3.12)$$

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

$$\frac{\Delta p}{\Delta L} = \frac{p_3 - p_1}{2l_p}, \quad (3.13)$$

де l_p – відстань між датчиками, м.

Чим більше швидкість зміни тиску в молокопроводі доїльної установки, тим більша ймовірність виникнення некерованого гідроудару, який призводить не тільки до руйнування молочних відкладень на стінках молокопроводу, а й до можливого пошкодження елементів обладнання молокопровідної системи (розділ 2.5).

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 (На-Ко₄) для чотирьох факторів на трьох рівнях із загальною кількістю дослідів – 18 [200]. Далі з використанням програмного пакету Mathematica визначалася модель регресії другого порядку для кожного із запропонованих критеріїв.

3.4 Методика експериментальних досліджень режимів роботи гідроінжектора системи промивання

Для перевірки фізико-математичної моделі роботи гідроінжектора системи промивання (розділ 2.6), робочим органом якого є насадка із круглим отвором, створено відповідне лабораторне обладнання. Схема експериментального стенду та його загальний вигляд наведено на рис. 3.9, 3.10 відповідно.

Стенд складається з таких частин: робочий орган гідроінжектора системи промивання (насадка); тензодатчик на 10 кг, на якому закріплюється чашка Петрі; ваговий сенсор НХ711; пристрій Arduino Uno ATmega328P-PU, який приєднано до персонального комп'ютера із відповідним програмним забезпеченням. Тензодатчик з одного краю жорстко закріплений на нерухомому штативі. Чашка Петрі кріпиться на легкозмінних кронштейнах.

Факторами експериментальних досліджень є тиск на виході насадки p_n , внутрішній діаметр насадки d_n , відстань між насадкою і поверхнею H_j , тривалість дії струменя на поверхню насадки t_n . Межі та інтервали факторів досліджень представлені в табл. 3.2.

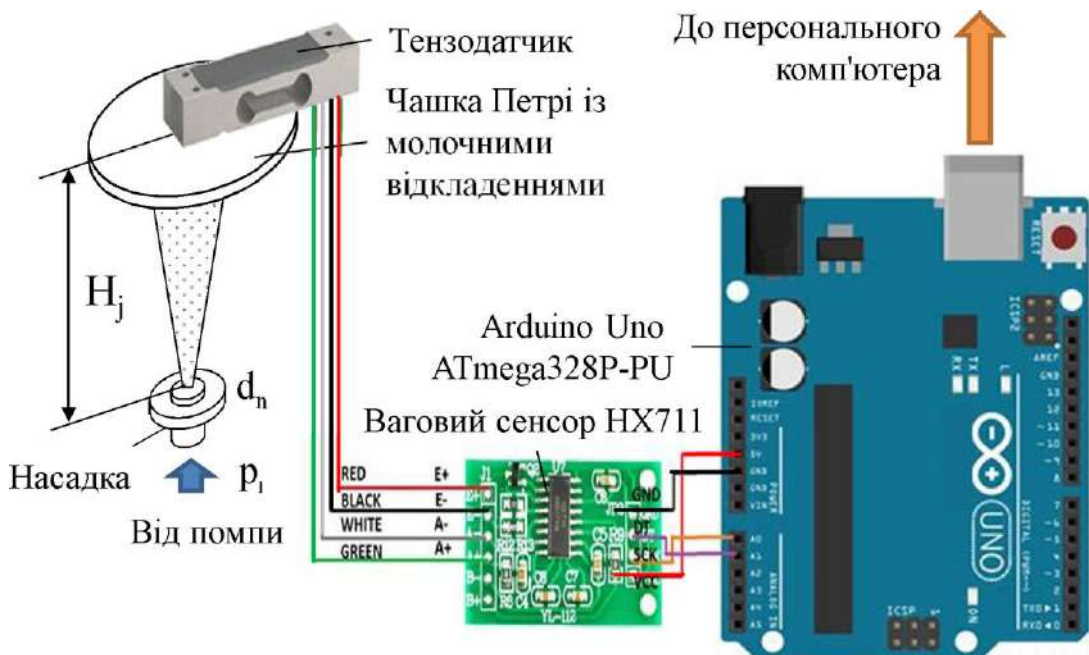
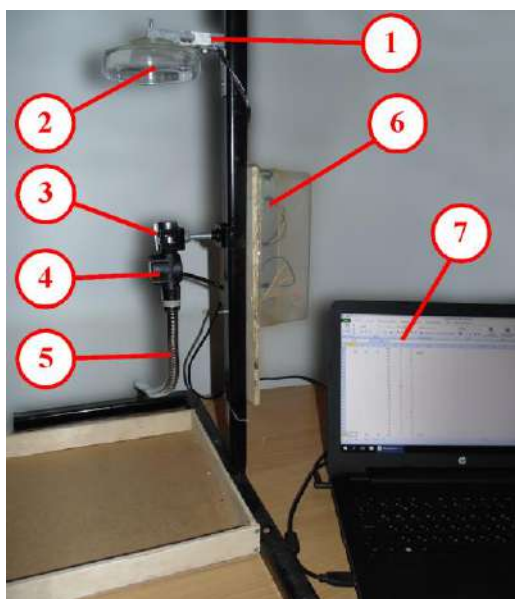


Рисунок 3.9 – Схема експериментального стану для дослідження робочого органу гідроінжектора системи промивання (насадки із отвором круглої форми)



1 – тензодатчик; 2 – чашка Петрі; 3 – насадка; 4 – датчик тиску;
5 – трубопровід; 6 – Arduino Uno ATmega328P-PU; 7 – персональний комп'ютер

Рисунок 3.10 – Загальний вигляд експериментального стану для дослідження робочого органу гідроінжектора системи промивання (насадки із отвором круглої форми)

Таблиця 3.2 – Межі та інтервали факторів експериментальних досліджень

Рівень	Тиск на виході насадки p_n , кПа (x_1)	Внутрішній діаметр насадки d_n , мм (x_2)	Відстань між насадкою і поверхнею H_j , м (x_3)	Тривалість дії струменя на поверхню t_n , хв. (x_4)
Верхній (+1)	500	3	0,3	30
Середній (0)	350	2	0,2	20
Нижній (-1)	200	1	0,1	10
Інтервал	150	1	0,1	10

Тиск на виході насадки p_n встановлюється за допомогою зміни напруги на помпі PLD1206 (800 кПа, 12 В) і контролюється гідравлічним манометр. Внутрішній діаметр насадки d_n встановлюється шляхом заміни жиклерів із відповідним відкаліброваним діаметром отвору. Відстань між насадкою і поверхнею H_j контролюється лінійкою. Тривалість дії струменя на поверхню насадки t_n визначається секундоміром.

В якості критеріїв досліджень обрано силу дії струменя мийного розчину на поверхню F_a і ступінь очищення поверхні від молочного відкладення після промивання гідроінжектором χ .

Сила дії струменя мийного розчину на поверхню F_a визначалася з використанням тензодатчика, калібрувальну залежність якого можна представити у вигляді:

$$F_a = (10 \cdot 2^{-16} \cdot \text{bit} - m_{\text{Петрі}})g, \quad (3.14)$$

де bit – значення тензодатчика отримане з ваговий сенсор НХ711 ($\text{bit} (0 \text{ кг}) = 0$, $\text{bit} (10 \text{ кг}) = 2^{16}$);
 $m_{\text{Петрі}}$ – маса чашки Петрі, кг;
 g – прискорення вільного падіння, м/с^2 .

Ступінь очищення поверхні (чашки Петрі) від молочного відкладення після промивання гідроінжектором χ визначався за формулою

$$\chi = \frac{m''_{\text{Петрі}} - m'_{\text{Петрі}}}{m'_{\text{Петрі}} - m_{\text{Петрі}}} 100, \% \quad (3.15)$$

де $m_{\text{Петрі}}$ – маса пустої чашки Петрі, кг;

m'_{Petri} – маса чашки Петрі із молочним відкладенням до промивання, кг;

m''_{Petri} – маса чашки Петрі із молочним відкладенням після промивання, кг.

Експериментальні дослідження проводилися за планом Бокса–Бенкіна (BB_3) для трьох факторів (тиск на виході насадки p_n , внутрішній діаметр насадки d_n , відстань між насадкою і поверхнею H_j) на трьох рівнях із загальною кількістю дослідів – 15 [201]. Однак визначення критеріїв відбувалося через кожні 10 хв. (фактор – тривалість дії струменя на поверхню насадки t_n). Повторність дворазова. Далі з використанням програмного пакету Mathematica визначалася модель регресії другого порядку для кожного із запропонованих критеріїв.

Експериментальні дослідження режимів роботи гідроінжектора системи промивання елементів доїльної установки виконувалися таким чином. Перед початком досліджень було підготовлено $15 \times 2 = 30$ чашок Петрі із свіжим молоком із однаковими властивостями, які були розміщені у приміщенні при температурі 15-25 °С на 30 діб. У результаті в чашках Петрі утворилися молочні відкладення (рис. 3.11). Маса пустих чашок Петрі заздалегідь відома.



Рисунок 3.11 – Загальний вигляд молочних відкладень у чашках Петрі

Далі чашку Петрі із молочним відкладенням зважували і закріплювали на тензодатчику. Після чого запускали помпу і, створюючи струмінь насадкою гідроінжектора із заздалегідь встановленими параметрами, визначали силу дії

струменя мийного розчину на поверхню F_a . Через кожні 10 хв. висушували чашку Петрі у сушильній шафі і визначали її масу. Всі дані зводилися до єдиної таблиці. На сонові отриманих значень мас, за формулою (3.15), визначали ступінь очищення поверхні від молочного відкладення після промивання гідроінжектором χ .

3.5 Статистична обробка результатів досліджень

Зазначене вище планування багатofакторних експериментальних досліджень передбачає визначення математичних моделей процесів у вигляді рівняння регресії (полінома) другого порядку [201, 202, 203]

$$Y = A_0 + \sum_{k=1}^k A_i X_i + \sum_{k=1}^k A_{ij} X_i X_j + \sum_{k=1}^k A_{ii} X_i^2, \quad (3.16)$$

де A_0, A_i, A_{ij}, A_{ii} – коефіцієнти регресії;

X_i, X_j – незалежні змінні фактори.

Для спрощення розрахунків рівняння регресії другого порядку визначаються у кодованому вигляді за формулою:

$$X_i = \frac{V_i - V_{0i}}{\Delta V_i}, \quad (3.17)$$

де X_i – кодоване значення фактора (верхній рівень +1, нижній рівень -1, нульовий рівень 0);

V_i – натуральне значення фактора;

V_{0i} – натуральне значення фактора на нульовому рівні;

ΔV_i – натуральне значення інтервалу варіації фактора.

Обробка результатів досліджень, проведених методом математичного факторного планування експериментів [204], виконувались за допомогою програмного пакета Mathematica [205, 206].

Для перевірки гіпотези про статистичну однорідність (належність до однієї генеральної сукупності) всіх дисперсій використовується критерій

Кохрена G (G–критерій). Нульова гіпотеза має вигляд: $H_0: s_1^2 = s_2^2 \dots s_i^2 = s_k^2$. Він використовується при активному експерименті з однаковою повторністю (більше двох) числа дослідів, які підпорядковуються нормальному розподілу і залежить від числа дослідів n та кількості варіантів дослідів k (числа дисперсій). Таким чином матриця даних, отримана згідно з матрицею планування, складається із k повторень дослідів (паралельних дослідів), представленими колонками і n рядів (повторів). Ряди позначаються індексом i , колонки – j [207].

Перевірка однорідності дисперсій виконується обчисленням частки від ділення максимальної дисперсії s_{\max}^2 на суму всіх дисперсій $\sum_{i=1}^k s_i^2$

$$G_p = \frac{s_{\max}^2}{\sum_{i=1}^k s_i^2}, \quad (3.18)$$

Отримана частка порівнюється із критичним значенням $G_{\alpha(k,v)}$ [208]. Якщо $G_{(k,v)} < G_{\alpha(k,v)}$, то нульова гіпотеза підтверджується – всі вибіркові дисперсії є оцінками однієї генеральної сукупності, тобто однорідні. Якщо $G_{(k,v)} \geq G_{\alpha(k,v)}$, тобто перевірка на відтворюваність дала негативний результат, то залишається визначити відтворюваність або невідтворюваність експерименту щодо керованих змінних внаслідок наявності флуктуацій некерованих і неконтрольованих змінних, що створюють на виході великий рівень “шуму”, або наявність грубого промаху в рядку, звідки взята сумнівна дисперсія. У першому випадку слід підвищити точність вимірів, або встановити менші інтервали варіації факторів та підвищити повторність у дослідях, у другому – знайти грубий промах і замінити його результатом доброякісного виміру при відповідній комбінації чинників.

Для визначення значимості коефіцієнтів регресії використовується критерій Стюдента, який є параметричним і вимагає наявності нормального розподілу оцінюваної сукупності [209]. Цей критерій ґрунтується на обчисленні і оцінці частки від ділення різниці між середнім значенням \bar{X} і сумнівним X_c ,

тобто максимальним X_{\max} чи мінімальним X_{\min} значенням вибірки на СКВ повної вибірки s . Нормальність досліджуваного розподілу підтверджується за формулою

$$t = \frac{\bar{X} - X_c}{s}. \quad (3.19)$$

Отримані емпіричні значення t порівнюють з критичним $t_{\alpha(v)}$ і за умови $t \geq t_{\alpha(v)}$ результат X_c вважають грубою помилкою і виключається із розгляду.

Якщо є n вимірювань X_1, X_2, \dots, X_n і потрібно встановити оцінку довірчої межі для деякого майбутнього $(n+1)$ вимірювання, сумісного з іншими вимірами. Для цього визначається \bar{X} і s , користуючись n вимірами, а довірча межа для вимірювання X_{n+1} , сумісного з іншими n значеннями x , знайдемо з виразу [210, 211, 212]

$$X_{n+1} - \bar{X} = t_{\alpha(v)} s \sqrt{\frac{n+1}{n}}, \quad (3.20)$$

для відповідного рівня значущості α і ступеня вільності $v = n - 1$ [213, 214, 215, 216, 217].

Адекватність моделі перевіряється за допомогою критерію Фішера

$$F_p = \frac{S_{LF}^2}{S_y^2}, \quad (3.21)$$

де S_{LF}^2 – дисперсія неадекватності математичної моделі;

S_y^2 – дисперсія помилки досліджу.

Якщо для критерію Фішера виконується умова $F_p < F_{\text{табл}}$, то нульова гіпотеза буде відхилена за умови прийнятого рівня значущості, зазвичай при $\alpha = 0,05$.

Після отримання математичної моделі процесу визначаються оптимальні значення факторів (координати оптимуму поверхні відгуку) та вивчаються властивості цієї поверхні біля оптимуму. Пошук оптимуму здійснюється методом канонічного перетворення математичної моделі. Результатом

перетворення рівняння регресії є форма поверхні відгуку та оптимальні координати поверхні відгуку або оптимальні значення факторів процесу роботи вакуумного насоса. Після цього проводять аналіз поверхні відгуку за допомогою двомірних перетинів. Побудування двомірних перетинів виконуються з використанням програмного пакету Mathematica.

Пошук оптимуму здійснюється рішенням компромісної задачі, після визначення математичних моделей процесу за оцінювальними показниками та визначення оптимальних параметрів. На початку виділяються найбільш значимі фактори з кожної моделі та їх оптимальні параметри, потім із загального списку визначаються спільні фактори і аналізується діапазон їхніх оптимальних значень.

3.6 Висновки з розділу

Відповідно до програми експериментальних досліджень, розроблено:

- методику з дослідження фотодатчика визначення забрудненості молокопровідної лінії;
- методику дослідження режимів роботи повітряного інжектора системи промивання молокопровідної лінії доїльної установки;
- методику дослідження режимів роботи гідроінжектора (насадки для створення струменя мийного розчину) системи промивання елементів доїльної установки.

РОЗДІЛ 4

РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

4.1 Результати експериментальних досліджень фотодатчика визначення забрудненості молокопровідної лінії

У результаті першого етапу досліджень фотодатчика визначення забрудненості молокопровідної лінії отримані дані, які зведені в табл. Ж.1.

Графічна інтерпретація табл. Ж.1 представлена на рис. 4.1. Лінійне рівняння регресії можна подати у вигляді:

$$h = 2,0237 \ln(R_2/R_1) + 0,3824. \quad (4.1)$$

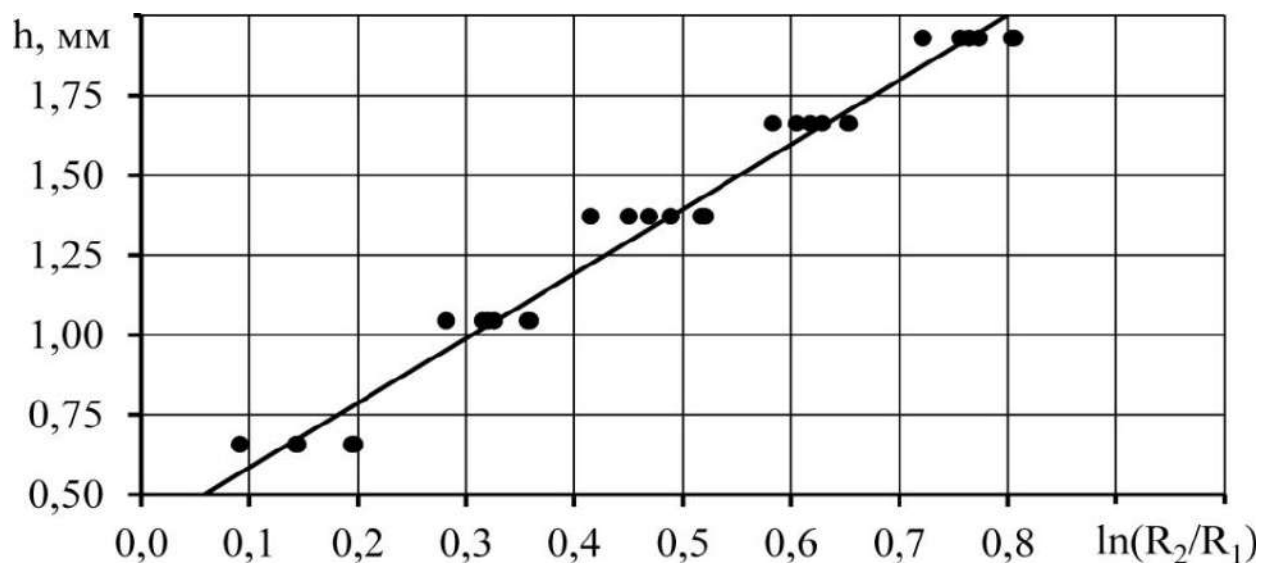


Рисунок 4.1 – Залежність товщини шару молока h від логарифму відношення опору фоторезистора $\ln(R_2/R_1)$

Коефіцієнт кореляції отриманих даних з рівнянням (3.6) становить 0,9896. Згідно з розрахованим критерієм Фішера для рівняння (4.1) $F = 1,92 > F_{0,05}(28;29) = 1,86$. Це свідчить про адекватність математичної моделі (4.1). Враховуючи це, можна стверджувати про правильність вибору методу оцінки товщини шару молока, що залишається на стінках молокопровідної лінії. При цьому показник поглинання світла молоком становить $k_\lambda = 494,1 \text{ м}^{-1}$.

Апроксимація даних табл. Ж.1 дає змогу отримати залежність товщини шару молока h від його об'єму V в молокопровідній лінії, яка представлена на рис. 4.2:

$$h = -0,0194V^2 + 0,4331V + 0,2473. \quad (4.2)$$

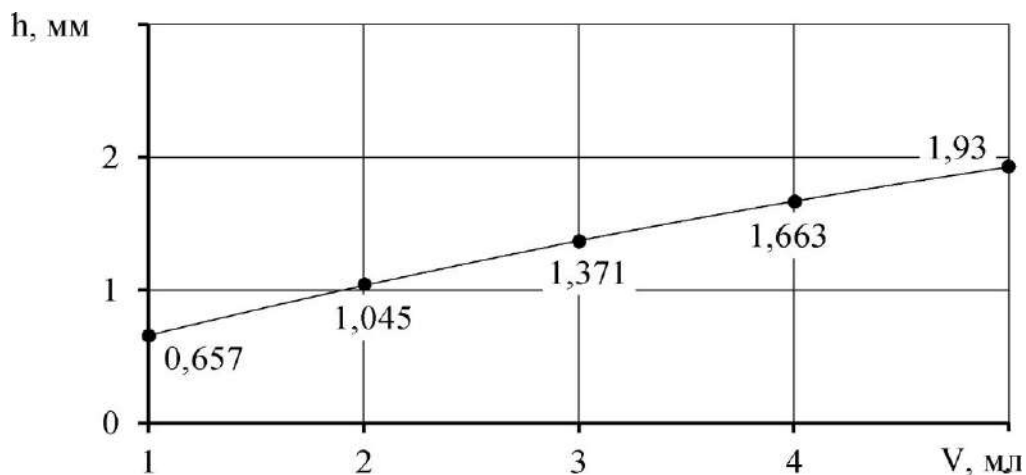


Рисунок 4.2 – Залежність товщини шару молока h від його об'єму V в молокопровідній лінії

Згідно з розрахованим критерієм Фішера для рівняння (4.2) $F = 0,99 < F_{0,05}(27;29) = 1,87$. Це свідчить про адекватність математичної моделі (4.2).

У результаті другого етапу отримані дані, що наведені на рис. 4.3, який відображає динаміку логарифма відношення опорів фоторезистора, та пропорційно значенню товщини шару молока, в процесі його стікання скляною трубою.

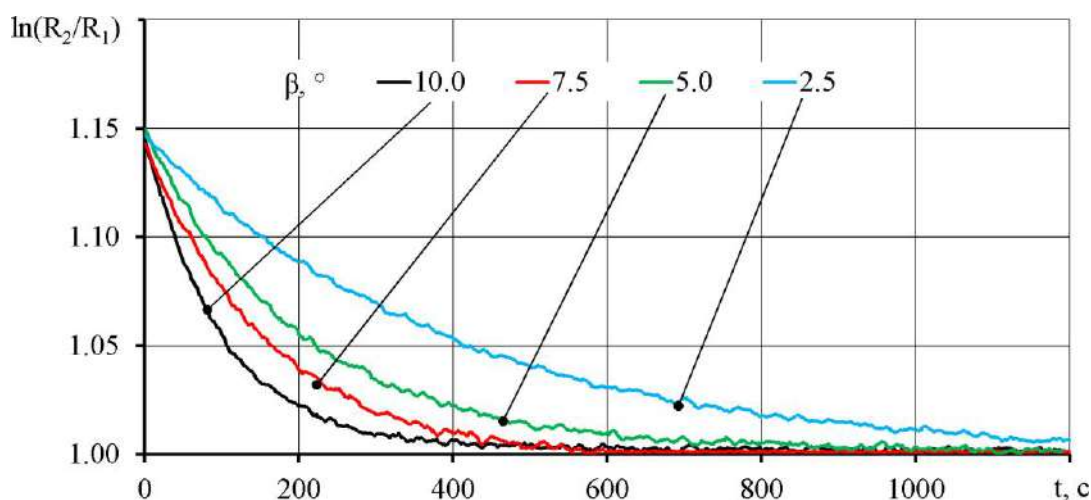


Рисунок 4.3 – Динаміка логарифма відношення опорів фоторезистора в процесі його стікання скляною трубою

Отримані залежності свідчать про доцільність використання розробленого обладнання для автоматичного визначення забрудненості молокопровідної лінії під час виконання технологічної операції промивання молокопровідних систем.

4.2 Результати експериментальних досліджень режимів роботи повітряного інжектора системи промивання молокопроводів доїльної установки

У результаті досліджень для кожного досліду отримана динаміка вакуумметричного тиску на кожному з підключених датчиків (p_0 , p_1 , p_2 , p_3). Дамо пояснення щодо процесів, які спостерігаються на відповідних графіках (рис. 4.4).

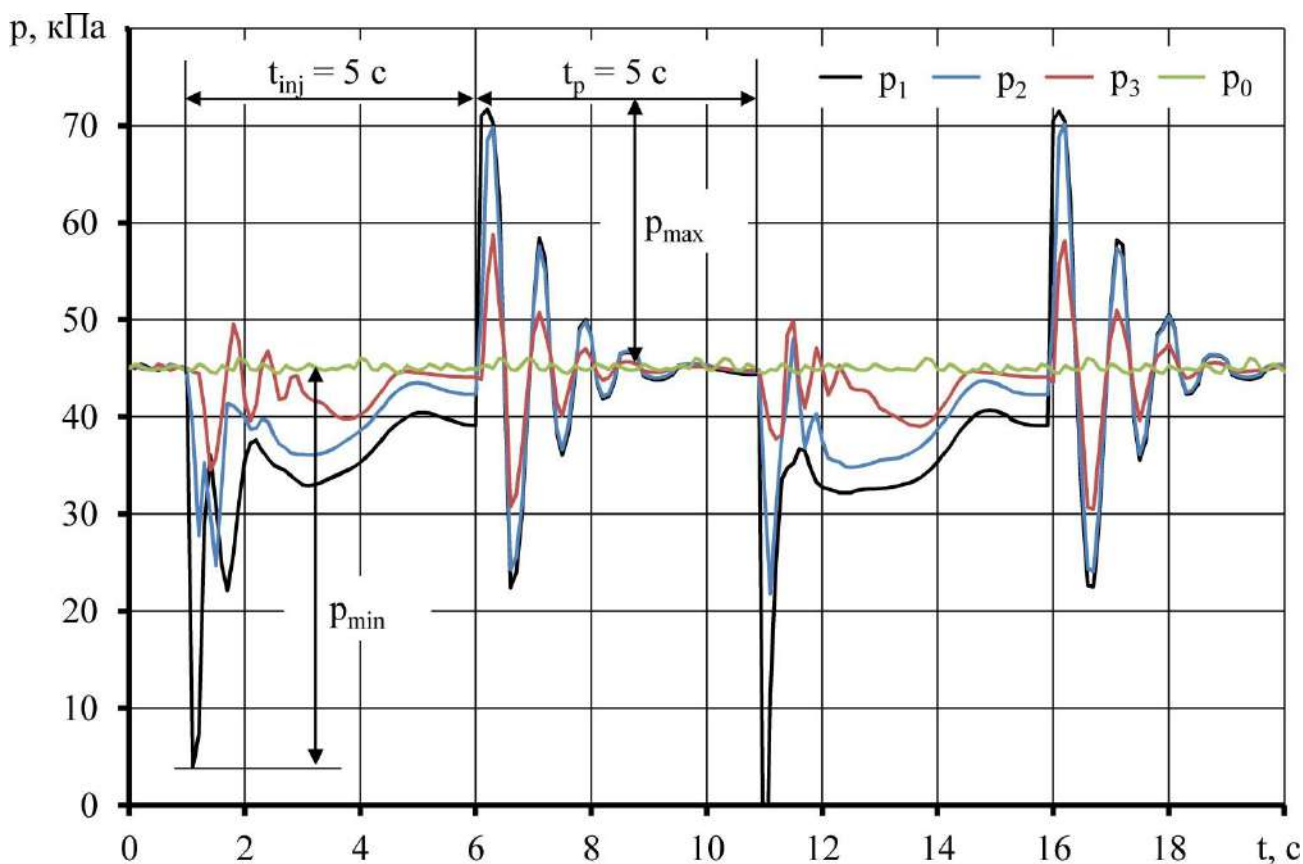


Рисунок 4.4 – Динаміка вакуумметричного тиску на підключених датчиків (p_0 , p_1 , p_2 , p_3)

Під час відкриття повітряного інжектора (тобто сполучанням 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.

Динаміка зміни опору на фотодатчику R_f має характер, який представлено на рис. 4.5. 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.

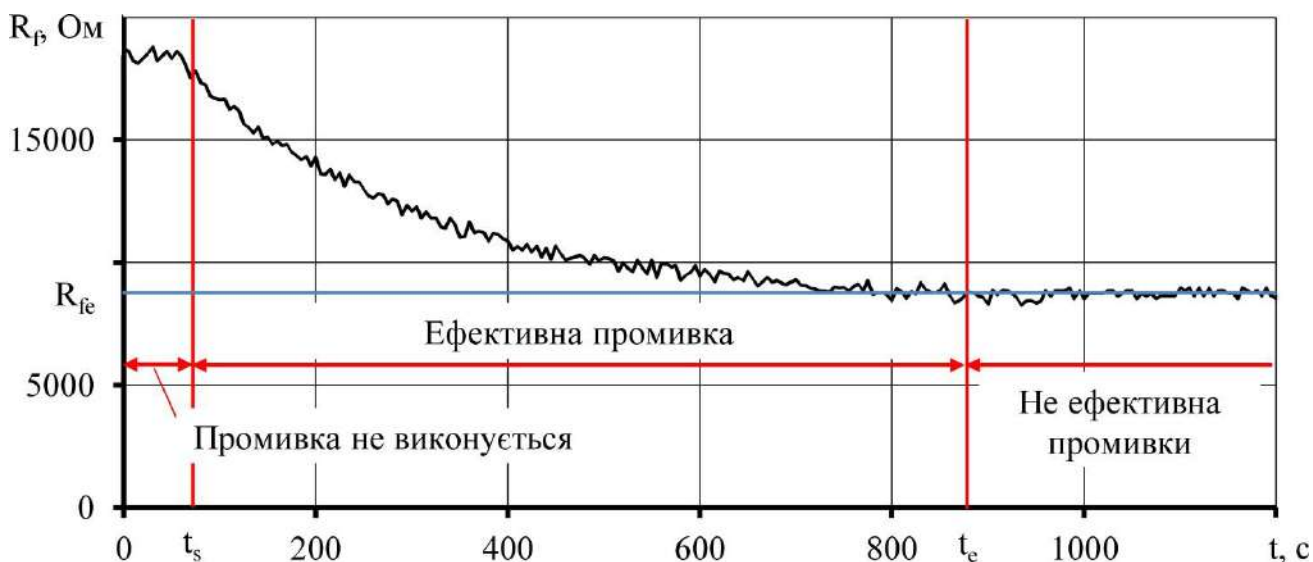


Рисунок 4.5 – Динаміка зміни опору на фотодатчику R_f

Відповідно до плану досліджень розглянемо отримані дані за кожним критерієм окремо (додаток Ж).

У результаті експериментальних досліджень і подальшої обробки отриманих даних у програмному пакеті Mathematica отримана залежність зміни ступеня чистоти θ_{milk} (%) від факторів досліджень в закодованому вигляді

$$\begin{aligned} \theta_{\text{milk}} = & 76,7653 - 6,70752 x_1 - 3,49731 x_1^2 - 1,88824 x_2 - 0,23882 x_1 x_2 - \\ & - 1,28554 x_2^2 - 3,84884 x_3 + 0,340515 x_1 x_3 + 2,07749 x_2 x_3 - \\ & - 6,23266 x_3^2 + 11,2418 x_4 - 0,107728 x_1 x_4 + 0,0858108 x_2 x_4 + \\ & + 0,592603 x_3 x_4 + 1,10483 x_4^2. \end{aligned} \quad (4.3)$$

Статистична обробка рівняння (4.3) представлена в табл. 4.1.

Таблиця 4.1 – Статистична обробка рівняння (4.3)

Коефіцієнт регресії	Значення коефіцієнта регресії	Стандартна похибка	t-statistic	P-Value
a ₀₀	76,7653	0,478921	160,288	5,35434·10 ⁻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	5,35434·10 ⁻⁷

Внаслідок аналізу табл. 4.1, відповідного скорочення незначущих коефіцієнтів за критерієм Стьюдента $t_{0,05}(36) = 2,02$ і розкодування рівняння (4.3) остаточно маємо залежність зміни значення ступеня чистоти θ_{milk} від факторів досліджень

$$\begin{aligned} \theta_{\text{milk}} = & 29,5872 + 1,42395 p_w - 0,0155436 p_w^2 + 0,0640533 Q_V - \\ & - 0,0000718187 p_w Q_V + 0,000110483 Q_V^2 - 0,121902 t_{\text{inj}} - \\ & - 0,00398034 p_w t_{\text{inj}} + 0,000214527 Q_V t_{\text{inj}} - 0,080346 t_{\text{inj}}^2 + 1,64717 t_p + \\ & + 0,00567526 p_w t_p + 0,00148151 Q_V t_p + 0,129843 t_{\text{inj}} t_p - 0,389542 t_p^2. \end{aligned} \quad (4.4)$$

Згідно з розрахованим критерієм Фішера для рівняння (4.4) $F = 1,96 < F_{0,05}(8;36) = 2,21$. Це свідчить, що між розрахунковими за рівнянням (4.4) і експериментальними даними немає істотних статистичних відмінностей і нульова гіпотеза про рівність вибірок розрахункових і експериментальних даних підтверджується, тобто математична модель (4.4) є адекватною.

Максимальне значення ступеня чистоти молокопроводу $\theta_{\text{milk}} = 94,0 \%$ досягається при $p_w = 45,5$ кПа, $t_{\text{inj}} = 1,1$ с, $t_p = 3,2$ с, $Q_V = 300$ л/хв. Фіксуючи по чергово фактори досліджень на зазначеному рівні, побудовані на рис. 4.6–4.7, графічні інтерпретації залежності (4.4).

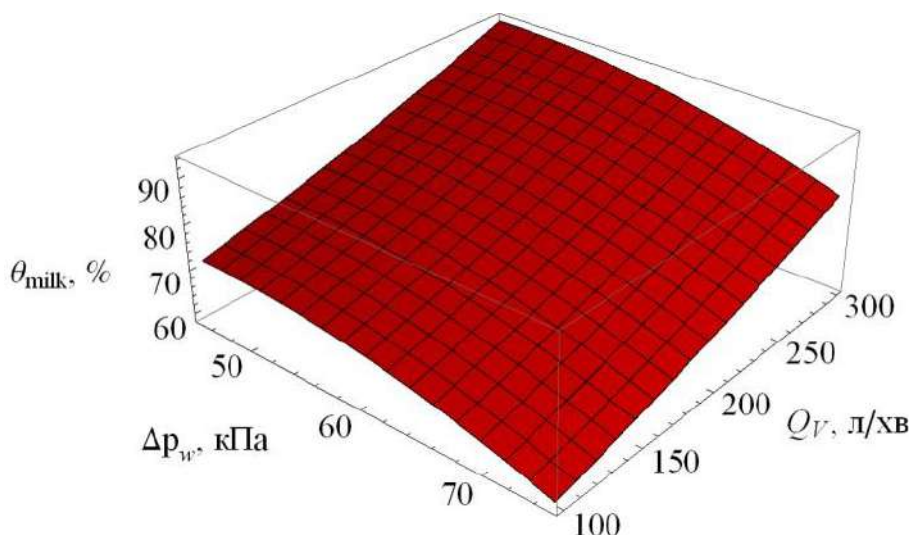


Рисунок 4.6 – Залежність значення ступеня чистоти молокопроводу θ_{milk} від робочого вакуумметричного тиску p_w і об'ємних витрат повітря через повітряний інжектор Q_V

Аналіз рис. 4.6–4.7 і залежності (4.4) дає змогу стверджувати про варіативність режимів роботи інжектора. Так із збільшенням робочого вакуумметричного тиску p_w і об'ємних витрат повітря через повітряний інжектор Q_v ступень чистоти молокопроводу θ_{milk} збільшується. Зазначене спостереження є досить логічним, оскільки збільшується взаємодія ударної хвилі, що виникає внаслідок пульсацій вакуумметричного тиску, із шаром молока на стінках молокопроводу. Для тривалості тактів впуску t_{inj} і паузи t_p повітряного інжектора спостерігається оптимум, при якому 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 невеликою, що призводить до менш руйнівної дії на шар молока, який розміщено на стінках молокопроводу.

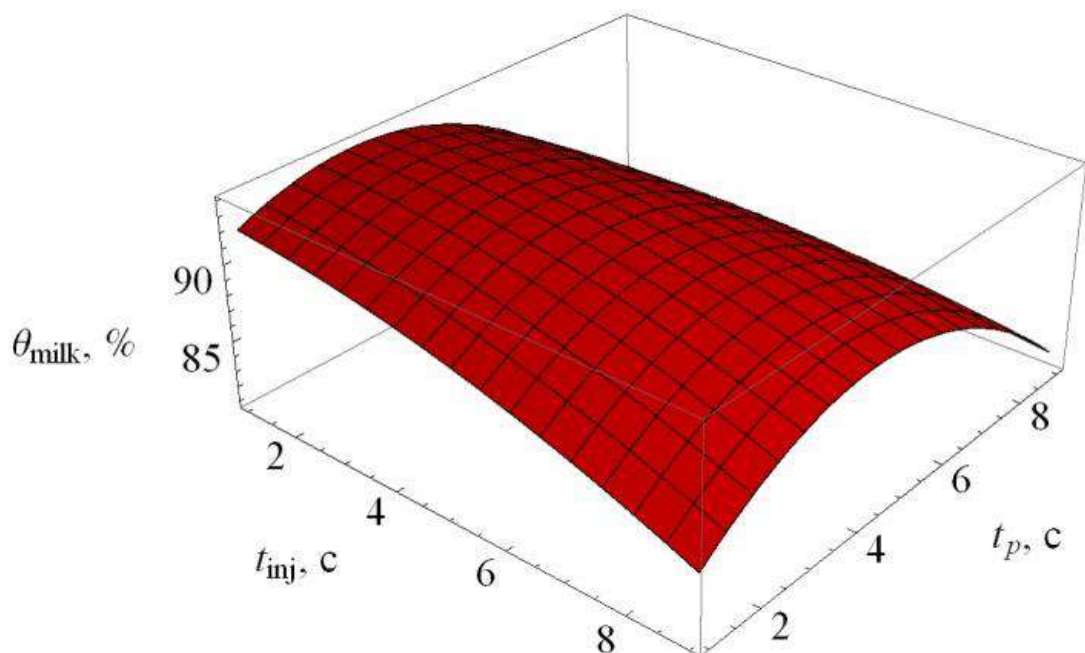


Рисунок 4.7 – Залежність значення ступеня чистоти молокопроводу θ_{milk} від тривалості такту впуску повітряного інжектора t_{inj} і тривалості паузи повітряного інжектора t_p

Перерахунок рівняння (2.37), що отримане в результаті чисельного моделювання, за формулою (3.10) дає змогу визначити математичну залежність

зміни ступінь чистоти θ_{milk} від факторів досліджень:

$$\begin{aligned} \theta_{\text{milk}} = & 12,614 + 3,78379 D_m - 0,0609942 D_m^2 - 1,3656 p_w + 0,0488142 D_m p_w - \\ & - 0,0135725 p_w^2 + 2,288 t_{\text{inj}} - 0,01143 D_m t_{\text{inj}} - 0,285755 t_{\text{inj}}^2 + 3,24547 t_p - \\ & - 0,0305141 D_m t_p + 0,114002 t_{\text{inj}} t_p - 0,381425 t_p^2. \end{aligned} \quad (4.5)$$

Графічна інтерпретація теоретичної залежності (4.5) при $D_m = 50$ мм і експериментальної залежності (4.4) при $Q_V = 100$ л/хв представлена на рис. 4.8–4.9.

Порівнюючи теоретичну (4.5) і експериментальну (4.4) 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.

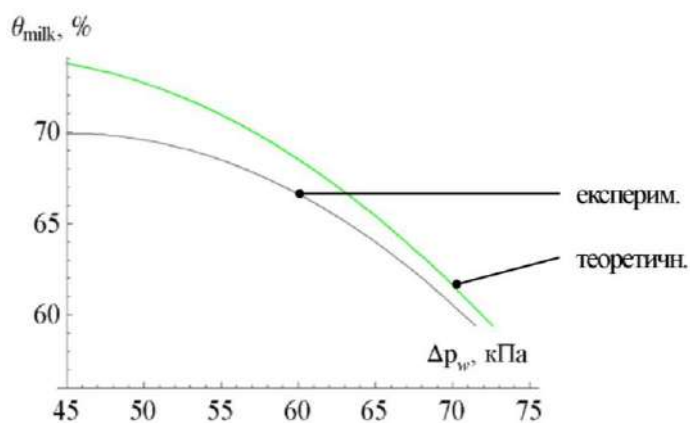


Рисунок 4.8 – Залежність значення ступеня чистоти молокопроводу θ_{milk} від робочого вакуумметричного тиску p_w

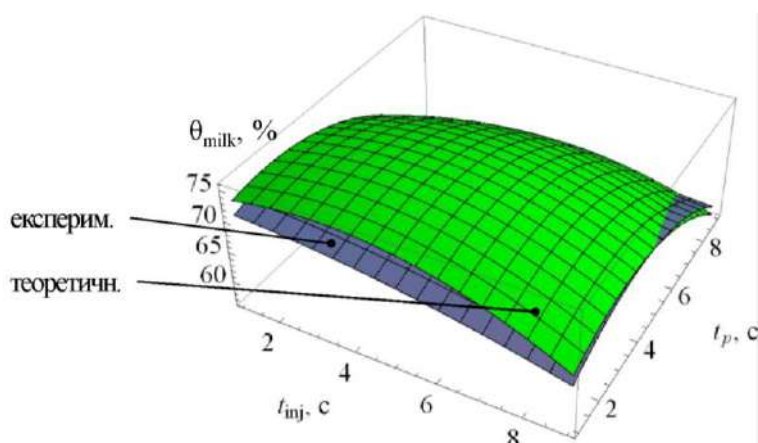


Рисунок 4.9 – Залежність значення ступеня чистоти молокопроводу θ_{milk} від тривалості такту впуску повітряного інжектора t_{inj} і тривалості паузи повітряного інжектора t_p

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

$$\begin{aligned} \frac{\Delta p}{\Delta t} = & 34,494 + 3,65198 x_1 - 2,6524 x_1^2 - 12,1905 x_2 - 3,02649 x_1 x_2 + \\ & + 12,738 x_2^2 - 8,07975 x_3 - 1,6205 x_1 x_3 + 12,9931 x_2 x_3 - \\ & - 0,878323 x_3^2 + 14,5057 x_4 - 0,170093 x_1 x_4 + 0,144456 x_2 x_4 + \\ & + 0,286004 x_3 x_4 + 0,370808 x_4^2. \end{aligned} \quad (4.6)$$

Статистична обробка рівняння (4.6) представлена в табл. 4.2.

Таблиця 4.2 – Статистична обробка рівняння (4.6)

Коефіцієнт регресії	Значення коефіцієнта регресії	Стандартна похибка	t-statistic	P-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

У результаті аналізу табл. 4.2 відповідного скорочення незначущих коефіцієнтів за критерієм Стюдента $t_{0,05}(36) = 2,02$ і розкодування рівняння (4.6) остаточно маємо залежність швидкості зміни тиску від факторів досліджень

$$\begin{aligned} \frac{\Delta p}{\Delta t} = & -9,25598 + 2,04533 p_w - 0,0117884 p_w^2 + 0,145057 Q_V - \\ & - 12,0428 t_{inj} - 0,0504414 p_w t_{inj} + 0,796128 t_{inj}^2 - 4,45978 t_p - \\ & - 0,0270083 p_w t_p + 0,812068 t_{inj} t_p. \end{aligned} \quad (4.7)$$

Згідно з розрахованим критерієм Фішера для рівняння (4.7) $F = 1,08 < F_{0,05}(8;36) = 2,21$. Це свідчить, що між розрахованими за рівнянням (4.7) і експериментальними даними немає істотних статистичних відмінностей і нульова гіпотеза про рівність вибірок розрахункових і експериментальних даних підтверджується, тобто математична модель (4.7) є адекватною.

Мінімальне значення швидкості зміни тиску $\Delta P/\Delta t = 6,93$ кПа/с досягається при $p_w = 45$ кПа, $t_{inj} = 4,39$ с, $t_p = 1,0$ с, $Q_V = 100$ л/хв. Фіксуючи по чергово фактори досліджень на зазначеному рівні, побудовані на рис. 4.10–4.11, графічні інтерпретації залежності (4.7).

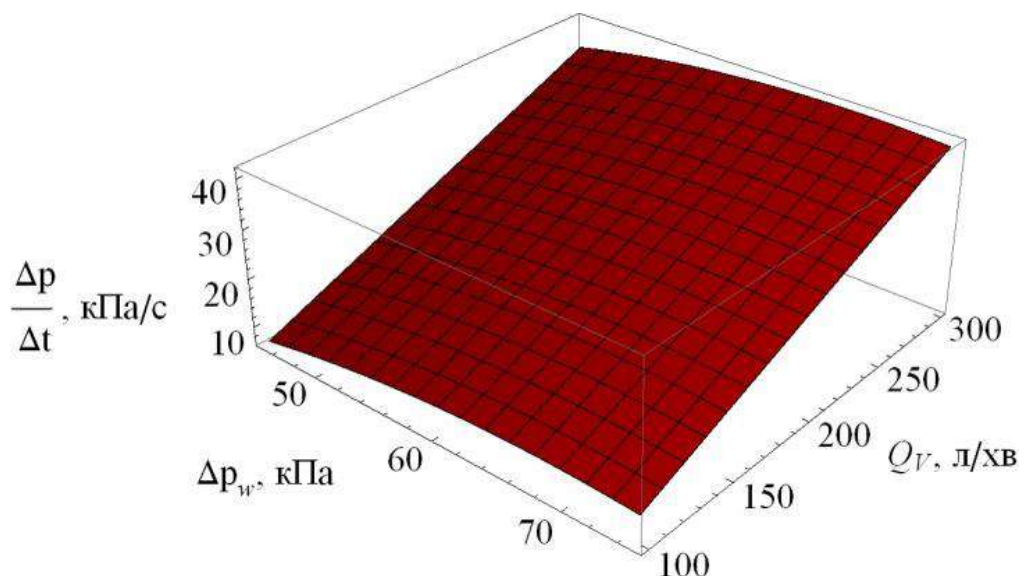


Рисунок 4.10 – Залежність значення швидкості зміни тиску $\Delta p/\Delta t$ від робочого вакуумметричного тиску p_w і об'ємних витрат повітря через повітряний інжектор Q_V

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 впуску повітряного інжектора t_{inj} швидкість зміни тиску зменшується. Останнє пояснюється рис. 4.11.

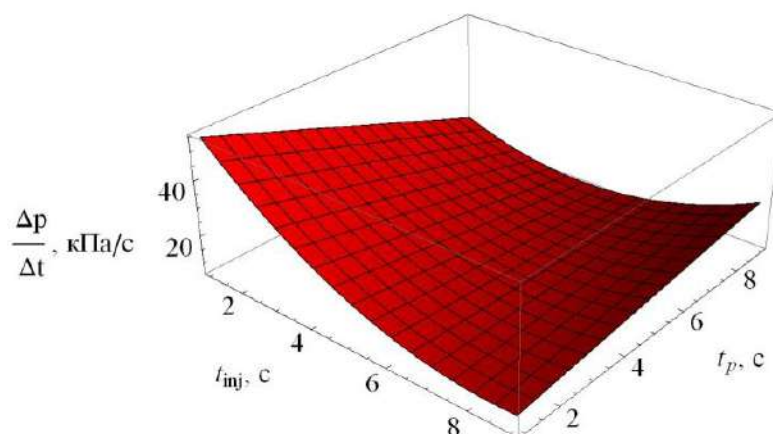


Рисунок 4.11 – Залежність значення швидкості зміни тиску $\Delta p/\Delta t$ від тривалості такту впуску повітряного інжектора t_{inj} і тривалості паузи повітряного інжектора t_p

Графічна інтерпретація теоретичної залежності (2.40) при $D_m = 50$ мм і експериментальної залежності (4.7) при $Q_v = 100$ л/хв представлена на рис. 4.12–4.13.

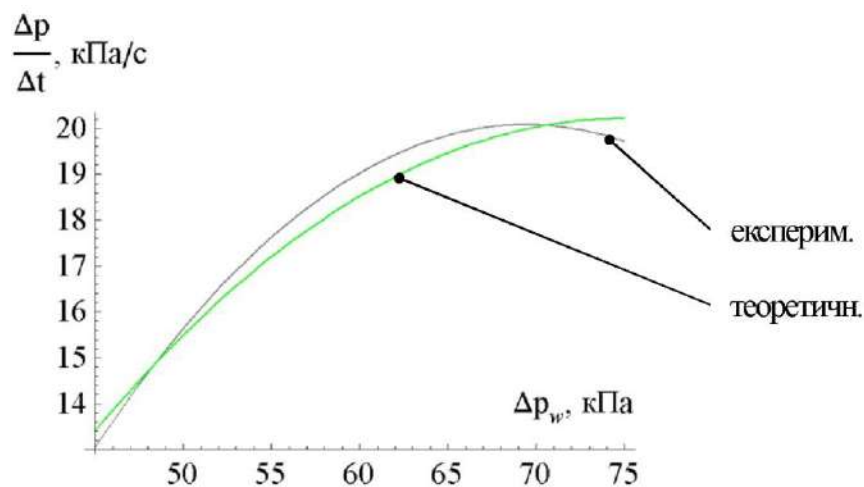


Рисунок 4.12 – Залежність значення швидкості зміни тиску $\Delta p/\Delta t$ від робочого вакуумметричного тиску p_w

Порівнюючи теоретичну (2.40) і експериментальну (4.7) 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.

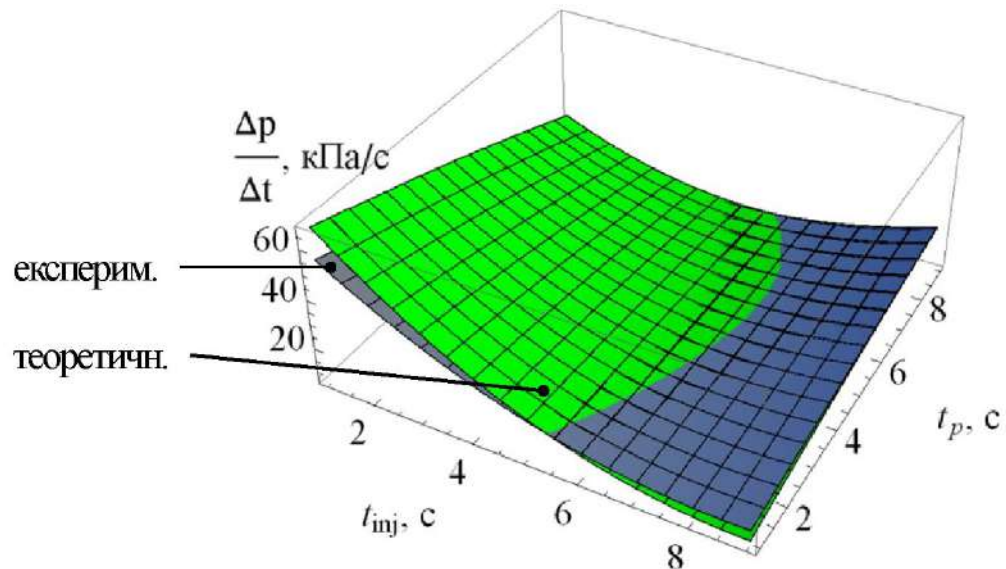


Рисунок 4.13 – Залежність значення швидкості зміни тиску $\Delta p/\Delta t$ від тривалості такту впуску повітряного інжектора t_{inj} і тривалості паузи повітряного інжектора t_p

У зв'язку з тим, що раціональні параметри теоретичних (4.5), (2.40) і експериментальних (4.4), (4.7) залежностей відрізняються, то необхідно вирішити компромісну задачу, яка зводиться до мінімізації значення швидкості зміни тиску при найбільшому значенні ступеня чистоти молокопроводу:

$$\left\{ \begin{array}{l} \theta_{milk}^{teor.}(D_m, p_w, t_{inj}, t_p) \rightarrow \max, \\ \theta_{milk}^{exper.}(p_w, t_{inj}, t_p, Q_v) \rightarrow \max, \\ \left(\frac{\Delta p}{\Delta t}\right)^{teor.}(D_m, p_w, t_{inj}, t_p) \rightarrow \min, \\ \left(\frac{\Delta p}{\Delta t}\right)^{exper.}(p_w, t_{inj}, t_p, Q_v) \rightarrow \min. \end{array} \right. \quad (4.8)$$

Вирішуючи систему рівнянь (4.8) у програмному пакеті Mathematica для різних значень діаметра молокопроводу отримуємо відповідні раціональні

параметри режимів роботи інжектора:

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

$$\theta_{milk} = 92,3 \%, \frac{\Delta p}{\Delta t} = 42,0 \text{ кПа/с}; \quad (4.9)$$

4.3 Результати експериментальних досліджень режимів роботи гідроінжектора системи промивання

Результати експериментальних досліджень режимів роботи гідроінжектора системи промивання зведені в табл. К.1.

Внаслідок обробки даних у програмному пакеті Mathematica отримана математична модель впливу досліджуваних факторів на силу дії струменя мийного розчину на поверхню F_a мала вигляд

$$F_a = 58,7698 + 7,53566 x_1 + 0,953334 x_1^2 + 1,30602 x_2 - 0,4575 x_1 x_2 - 2,79158 x_2^2 - 1,16708 x_3 + 0,09 x_1 x_3 + 4,53155 x_2 x_3 - 3,49488 x_3^2. \quad (4.10)$$

Для цього рівняння на 95 % рівні довірчої ймовірності дисперсії однорідні, значення критерію Кохрена $G = 0,1558 < G_{0,05}(2, 15) = 0,3346$.

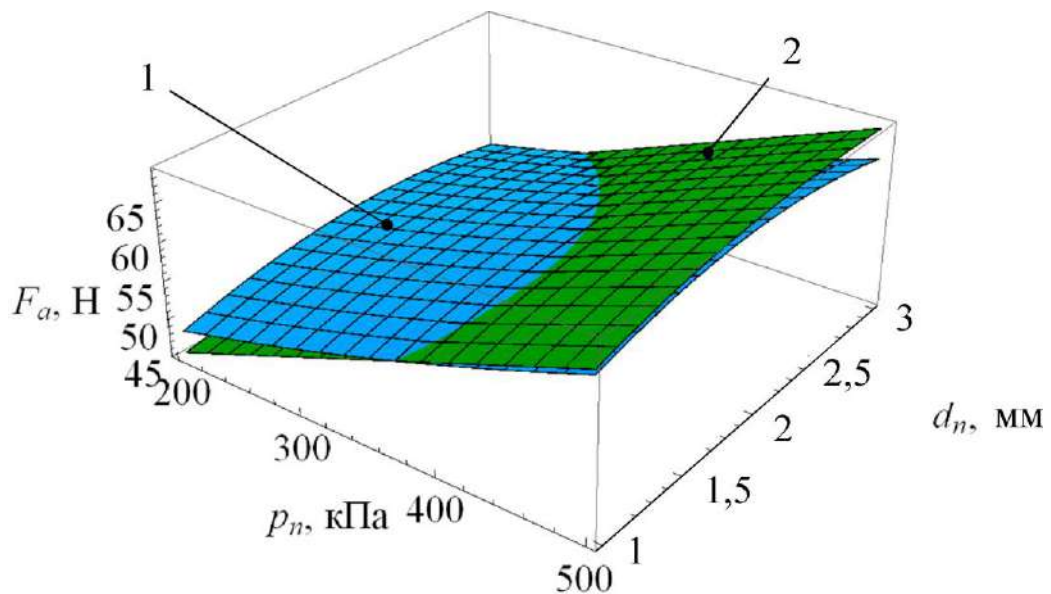
Дисперсія адекватності математичної моделі $S_{ад}^2 = 0,6781$; дисперсія похибки дослідів $S_y^2 = 0,2803$; значення критерію Фішера $F = 2,418 < F_{0,05}(6, 30) = 2,42$; модель адекватна на будь-якому рівні довірчої ймовірності.

За табличним значенням критерію Стьюдента $t_{0,05}(30) = 2,04$ були відкинуті незначущі на рівні довірчої ймовірності більше 95 % коефіцієнти регресії і отримано рівняння у розкодованому вигляді:

$$F_a = 36,9444 - 2,79158 d_n^2 + 37,4935 H_j - 349,488 H_j^2 + 4,47673 d_n + 45,3155 H_j d_n - 0,00305 p_n d_n + 0,0266784 p_n + 0,0000423704 p_n^2. \quad (4.11)$$

Максимальне значення силу дії струменя мийного розчину на поверхню $F_a = 67,3 \text{ Н}$ досягається при $p_n = 500 \text{ кПа}$, $d_n = 2,03 \text{ мм}$, $H_j = 0,1855 \text{ м}$. Фіксуючи по чергово фактори досліджень на зазначеному рівні, побудовані на рис. 4.14–4.15, графічні інтерпретації експериментальної залежності (4.11) і теоретичної $F_a = p_a \pi R_a^2$ відповідно до (2.51) і (2.54).

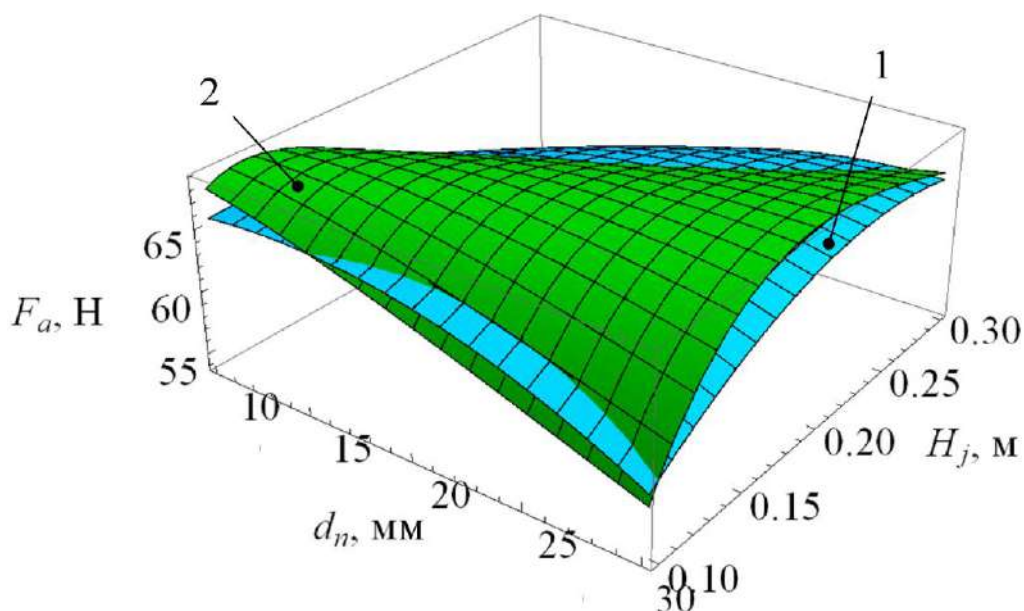
Наочне (згідно з рис. 4.14–4.15) і статистичне (за критерієм Фішера $F = 1,68 < F_{0,05}(6, 30) = 2,42$ і коефіцієнтом кореляції $R = 0,97$) порівняння теоретичних і експериментальних результатів досліджень дозволяє стверджувати про адекватність і логічність отриманих залежностей сили дії струменя мийного розчину на поверхню F_a від факторів досліджень у відповідному діапазоні їх значень.



1 – експериментальна залежність; 2 – теоретична залежність

Рисунок 4.14 – Залежність значення сили дії струменя мийного розчину на поверхню F_a від тиску на виході насадки p_n і її внутрішнього діаметра d_n

Також з рис. 4.14–4.15 видно, що із збільшенням тиску на виході насадки p_n сили дії струменя мийного розчину на поверхню F_a також збільшується, а для відстані між насадкою і поверхнею H_j і її внутрішнього діаметра d_n спостерігається оптимум, фізичний зміст якого пояснюється протилежністю залежностей радіуса струменя R_t (2.51) (рис. 2.27) і тиску струменя на поверхню молокопровідної системи p_a (2.54) (рис. 2.28).



1 – експериментальна залежність; 2 – теоретична залежність

Рисунок 4.15 – Залежність значення сили дії струменя мийного розчину на поверхню F_a від відстані між насадкою і поверхнею H_j і її внутрішнього діаметра d_n

У результаті обробки даних у програмному пакеті Mathematica отримана математична модель впливу досліджуваних факторів на ступінь очищення поверхні від молочного відкладення після промивання гідроінжектором χ мала вигляд

$$\begin{aligned} \chi = & 36,5154 + 2,1899 x_1 + 0,906648 x_1^2 - 0,0691821 x_2 - 1,72748 x_1 x_2 - \\ & - 3,87887 x_2^2 - 0,28071 x_3 + 0,413364 x_1 x_3 + 2,52184 x_2 x_3 - \\ & - 3,52624 x_3^2 + 2,05251 x_4 + 0,195778 x_1 x_4 - 0,23794 x_2 x_4 + \\ & + 0,150394 x_3 x_4 - 0,898557 x_4^2. \end{aligned} \quad (4.12)$$

Для цього рівняння на 95 % рівні довірчої ймовірності дисперсії однорідні, значення критерію Кохрена $G = 0,2712 < G_{0,05}(2, 15) = 0,3346$.

Дисперсія адекватності математичної моделі $S_{ад}^2 = 2,750$; дисперсія похибки дослідів $S_y^2 = 2,434$; значення критерію Фішера $F = 1,13 < F_{0,05}(35, 90) = 1,55$; модель адекватна на будь-якому рівні довірчої ймовірності.

За табличним значенням критерію Стьюдента $t_{0,05}(90) = 1,99$ були відкинуті незначущі на рівні довірчої ймовірності більше 95 % коефіцієнти

регресії і отримано рівняння у розкдованому вигляді:

$$\begin{aligned} \chi = & -3,88822 - 3,87887 d_n^2 + 90,6127 H_j - 352,624 H_j^2 + \\ & + 14,5026 d_n + 25,2184 H_j d_n - 0,0115165 p_n d_n + 0,0376324 p_n + \\ & + 0,564674 t_n - 0,00898557 t_n^2. \end{aligned} \quad (4.13)$$

Максимальне значення ступеня очищення поверхні від молочного відкладення після промивання гідроінжектором $\chi = 40,1$ % досягається при $p_n = 500$ кПа, $d_n = 1,75$ мм, $H_j = 0,191$ м. Фіксуючи по чергово фактори досліджень на зазначеному рівні, побудовані на рис. 4.16–4.17, графічні інтерпретації експериментальної залежності (4.13).

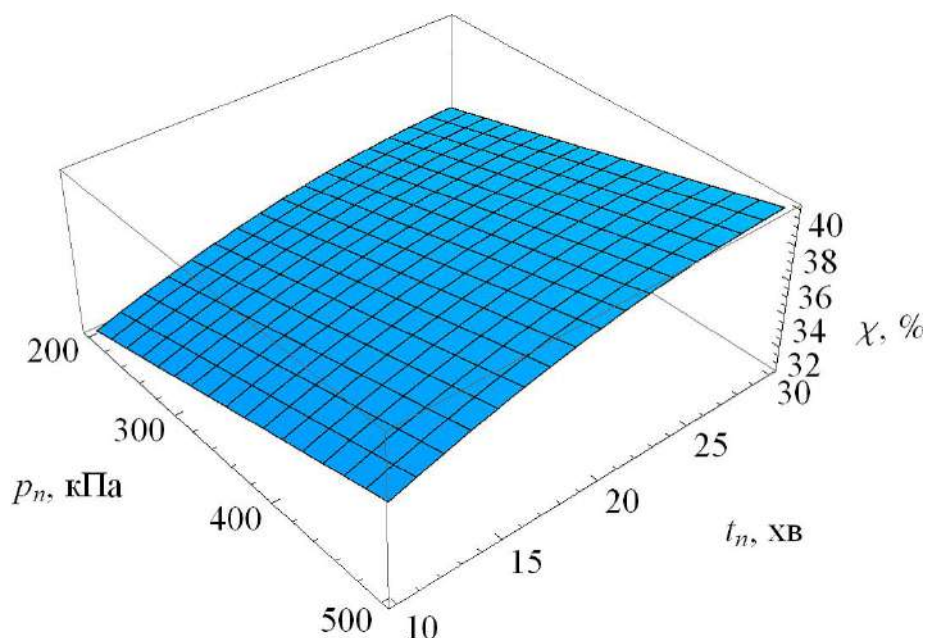


Рисунок 4.16 – Залежність ступеня очищення поверхні від молочного відкладення після промивання гідроінжектором χ від тиску на виході насадки p_n та тривалості дії струменя на поверхню t_n

З рис. 4.16–4.17 видно, що із збільшенням тиску на виході насадки p_n та тривалості дії струменя на поверхню t_n ступень очищення поверхні від молочного відкладення після промивання гідроінжектором χ також збільшується, однак наближається до певного асимптотичного значення, а для відстані між насадкою і поверхнею H_j і її внутрішнього діаметра d_n спостерігається оптимум, фізичний зміст якого пояснюється протилежністю

залежностей радіуса струменя R_t (2.51) (рис. 2.27) і тиску струменя на поверхню молокопровідної системи p_a (2.54) (рис. 2.28).

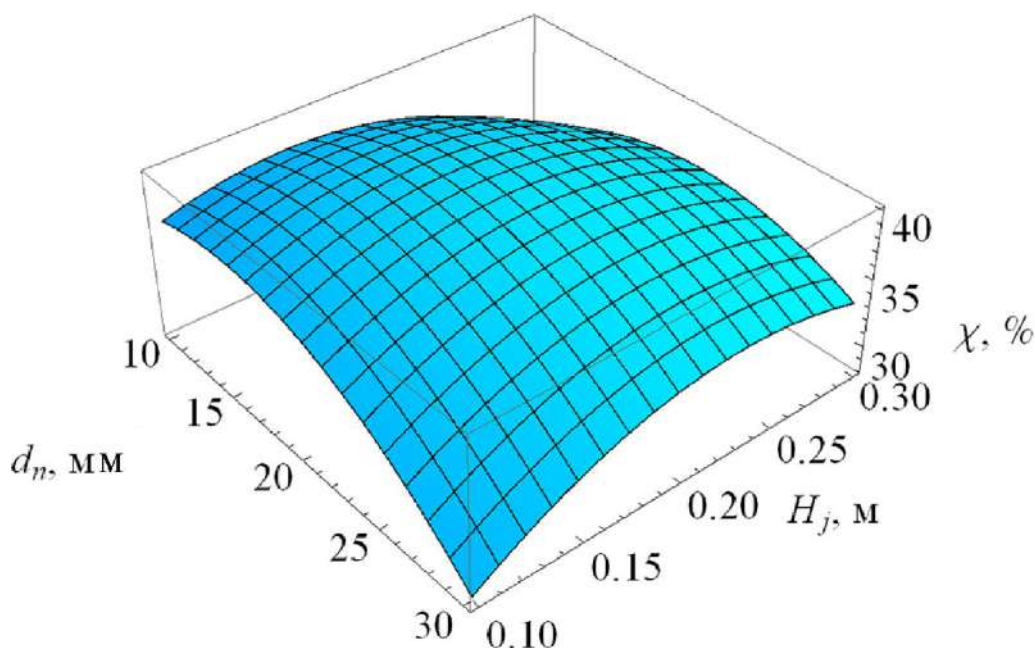


Рисунок 4.17 – Залежність ступеня очищення поверхні від молочного відкладення після промивання гідроінжектором χ від відстані між насадкою і поверхнею H_j і її внутрішнього діаметра d_n

У якості раціональних конструктивно-режимних параметрів гідроінжектора з умови максимуму ступеня очищення поверхні від молочного відкладення після промивання $\chi = 40,1$ % визначено $p_n = 500$ кПа, $d_n = 1,75$ мм, $H_j = 0,191$ м.

4.4 Висновки з розділу

1. У результаті експериментальних досліджень встановлено доцільність використання розробленого обладнання для автоматичного визначення забрудненості молокопровідної лінії під час виконання технологічної операції промивання молокопровідних систем. Встановлена залежність товщини шару молока (4.1), що рухається в скляній трубі, від опору фоторезистора, на який потрапляє світло, що частково поглинається шаром молока.

2. У результаті експериментальних досліджень режимів роботи повітряного інжектора системи промивання молокопроводів доїльної установки було встановлено залежності швидкості зміни тиску $\Delta p/\Delta t$ (4.7) і зміни значення ступеня чистоти молокопроводу θ_{milk} (4.4) від робочого вакуумметричного тиску p_w , об'ємних витрат повітря через повітряний інжектор Q_v , тривалості такту впуску повітряного інжектора t_{inj} і тривалості паузи повітряного інжектора t_p .

3. Порівнюючи теоретичну (4.5) і експериментальну (4.4) 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. Порівнюючи теоретичну (2.40) і експериментальну (4.7) 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.

4. 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 $D = 50$ мм $\rightarrow p_w = 45,0$ кПа, $t_{\text{inj}} = 6,1$ с, $t_p = 3,8$ с, $Q_v = 300$ л/хв, $\theta_{\text{milk}} = 92,3$ %, $\Delta p/\Delta t = 42,0$ кПа/с; при $D = 60$ мм $\rightarrow p_w = 45,0$ кПа, $t_{\text{inj}} = 6,1$ с, $t_p = 3,5$ с, $Q_v = 300$ л/хв, $\theta_{\text{milk}} = 92,1$ %, $\Delta p/\Delta t = 42,1$ кПа/с; при $D = 70$ мм $\rightarrow p_w = 60,6$ кПа, $t_{\text{inj}} = 5,9$ с, $t_p = 3,4$ с, $Q_v = 300$ л/хв, $\theta_{\text{milk}} = 88,4$ %, $\Delta p/\Delta t = 40,0$ кПа/с.

5. У результаті експериментальних досліджень роботи гідроінжектора системи промивання встановлені залежності значення сили дії струменя мийного розчину на поверхню F_a (4.11) і ступеня очищення поверхні від молочних відкладень після промивання χ (4.13) від тиску на виході насадки p_n , відстані між насадкою і поверхнею H_j і її внутрішнього діаметра d_n . Наочне і статистичне (за критерієм Фішера $F = 1,68 < F_{0,05}(6, 30) = 2,42$ і коефіцієнтом

кореляції $R = 0,97$) порівняння теоретичних і експериментальних результатів досліджень дозволяє стверджувати про адекватність і логічність отриманих залежностей сили дії струменя мийного розчину на поверхню F_a від факторів досліджень у відповідному діапазоні їх значень.

6. У якості раціональних конструктивно-режимних параметрів гідроінжектора з умови максимуму ступеня очищення поверхні від молочного відкладення після промивання $\chi = 40,1$ % визначено $p_n = 500$ кПа, $d_n = 1,75$ мм, $H_j = 0,191$ м.

Основні наукові результати розділу опубліковано в працях автора [199, 218, 219, 220, 221].

РОЗДІЛ 5

РЕАЛІЗАЦІЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ

5.1 Обґрунтування конструктивно-технологічної схеми автоматичної система промивання молокопровідної лінії доїльних установок

На основі отриманих математичних моделей процесу роботи промивання доїльних установок із повітряним і гідро- інжекторами, а також фотодатчика визначення забрудненості молокопровідної лінії доїльної установки розроблено систему промивання молокопровідної лінії доїльних установок із автоматизованим контролем його режимних параметрів.

В основу винаходу (патент № 140923 [224], додаток Л) поставлено задачу створення такої автоматичної системи промивання молокопровідної лінії доїльних установок, в якій за рахунок встановлення додаткових елементів можливо оперативно визначати стан забрудненості молокопровідної лінії і відповідно автоматично змінювати її режимні параметри, що дасть можливість виконувати відповідний технологічний процес із більш високою продуктивністю і якістю при зменшенні втрат води і енерговитрат.

Принцип роботи системи промивання молокопровідної лінії доїльних установок пояснюється конструктивно-технологічною схемою, яка наведена на рис. 5.1.

Автоматична система промивання молокопровідної лінії доїльних установок містить бак 1, в якому встановлено поплавок 2, датчик рівня мийного розчину 3, клапан циркуляції-зливу 4, клапан всмоктування рідини на молокопровід 5. До бака 1 приєднано трубопровід 6, який через електромагнітний клапан пуску холодної води 7 приєднано до системи водопостачання. Також до трубопроводу 6 через електромагнітний клапан пуску гарячої води 8 приєднано водонагрівач 9, який в свою чергу з'єднаний із системою водопостачання. До нижньої частини клапана всмоктування рідини на молокопровід 5 приєднано початок молокопровідної лінії, а до нижньої

частини клапана циркуляції-зливу 4 приєднано кінець молокопровідної лінії та злив до системи каналізації. До баку 1 через електромагнітний клапан пуску концентрату мийного розчину 10 приєднано ємність 11. На баку 1 встановлено контрольний датчик температури 12.

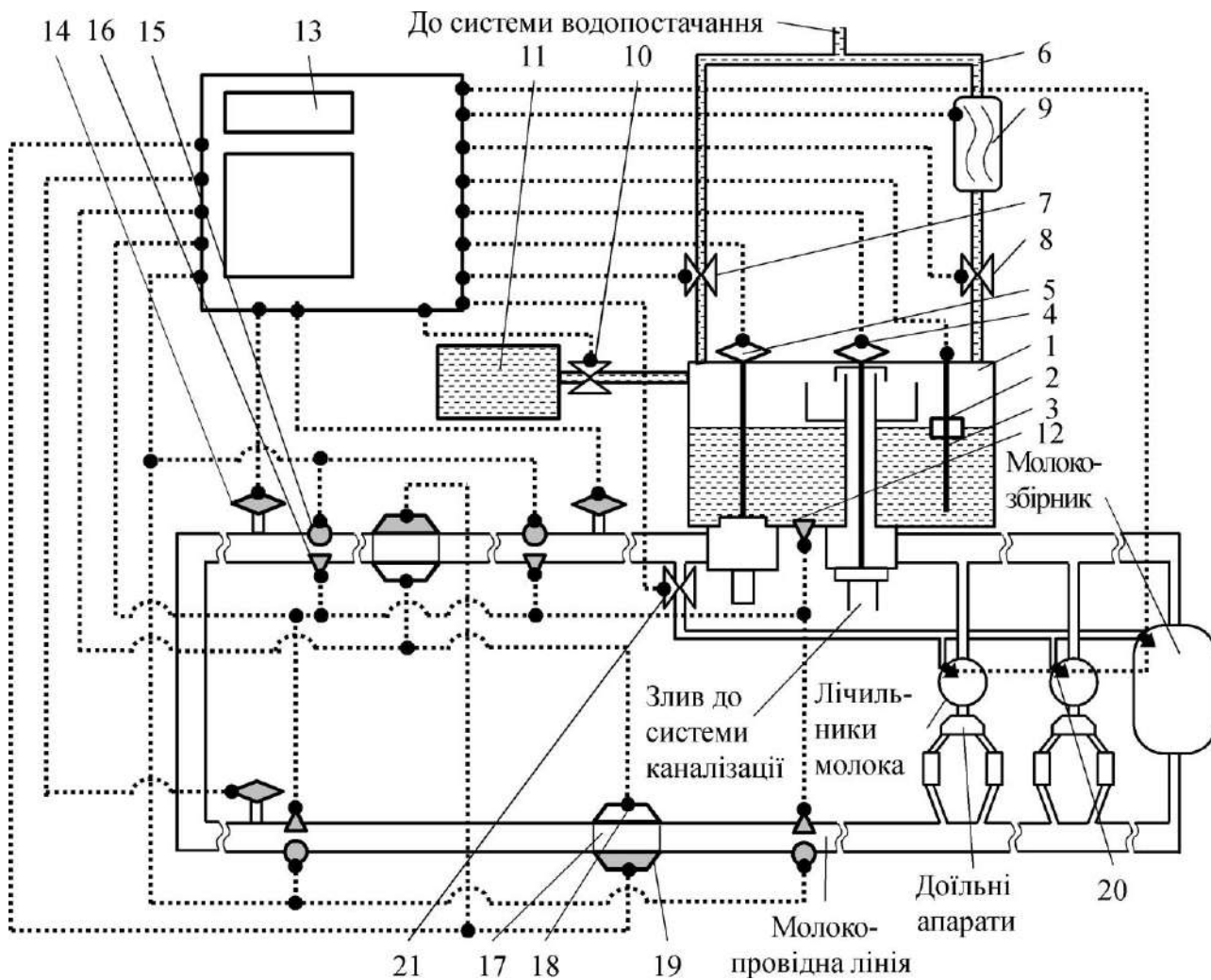


Рисунок 5.1 – Конструктивно-технологічна схема автоматичної системи промивання молокопровідної лінії доїльних установок що є результатом впровадження дисертаційного дослідження

Датчик рівня мийного розчину 3, клапан циркуляції-зливу 4, клапан всмоктування рідини на молокопровід 5, електромагнітний клапан пуску холодної води 7, електромагнітний клапан пуску гарячої води 8, водонагрівач 9, електромагнітний клапан пуску концентрату мийного розчину 10 і контрольний

датчик температури 12 засобами електричних проводів (позначені пунктирною лінією) приєднані до блоку керування 13.

На молокопровідній лінії через кожні 10 м встановлені електромагнітні клапани пуску повітря 14, датчики вакуумметричного тиску 15, датчики температури 16 і фотодатчики 17. Фотодатчики 17 складаються із фотодіодів 18 і фоторезисторів 19, які розміщені на прозорій частині молокопровідної лінії. На молокозбірниках, групових та індивідуальних лічильниках молока встановлено додатково гідроінжектори 20, які приєднані до баку 1 через електромагнітний клапан пуску мийного розчину 21.

Електромагнітні клапани пуску повітря 14, датчики вакуумметричного тиску 15, датчики температури 16, фотодіоди 18, фоторезистори 19, гідроінжектори 20, електромагнітний клапан пуску мийного розчину 21 засобами електричних проводів приєднані до блоку керування 13.

Автоматична система промивання молокопровідної лінії доїльних установок працює таким чином. Спочатку в блок керування 13 оператор задає температуру мийного розчину, його концентрацію і запускає процес промивання. Блок керування 13 передає сигнал до водонагрівача 9 і вмикає його. Далі блок керування 13 зчитує значення температури з контрольного датчика температури 12, який встановлено на баку 1, і вмикає відповідний електромагнітний клапан пуску холодної води 7 і електромагнітний клапан пуску гарячої води 8 залежно від встановленої температури. У результаті чого бак 1 наповнюється водою заданої температури. Блок керування 13 зчитує значення рівня мийного розчину з датчика рівня мийного розчину 3, який встановлено в баку 1, і вмикає електромагнітний клапан пуску концентрату мийного розчину 10 залежно від встановленої концентрації мийного розчину. У разі досягнення мийного розчину рівня поплавка 2 в баку 1, блок керування 13 відключає електромагнітний клапан пуску холодної води 7, електромагнітний клапан пуску гарячої води 8 і електромагнітний клапан пуску концентрату мийного розчину 10.

Після цього блок керування 13 відкриває клапан всмоктування рідини на молокопровід 5 і встановлює клапан циркуляції-зливу 4 в режим циркуляції. У результаті чого мийний розчин починає циркулювати молокопровідною лінією. Інформація з усіх датчиків тиску 15 і датчиків температури 16 поступає до блоку керування 13, де вона фіксується. За допомогою отриманих даних з датчиків температури 16 встановлюється відповідна температура мийного розчину в баку 1, шляхом включення/відключення електромагнітного клапану пуску холодної води 7 і електромагнітного клапану пуску гарячої води 8.

Блок керування 13 вмикає фотодіоди 18 фотодатчиків 17. У результаті чого змінюється електричний опір фоторезисторів 19, значення яких передаються до блоку керування 13. Чим більше електричний опір фоторезисторів 19, тим молокопровідна лінія більш засмічена молочними відкладаннями. У разі перевищення граничного значення електричного опору блок керування 13 періодично вмикає електромагнітні клапани пуску повітря 14, впускаючи атмосферне повітря у молокопровідну лінію. У результаті чого виникає гідравлічний удар мийного розчину молокопровідною лінією. Параметри цього руху контролюються за допомогою датчиків тиску 15. Окрім цього вмикаються електромагнітний клапан пуску мийного розчину 21 і гідроінжектори 20, які встановлені на молокозбірниках, групових та індивідуальних лічильниках молока. Гідроінжектори 20 під тиском періодично впорскують мийний розчин у відповідні молочні ємності, тим самим збиваючи молочний жир і відкладення з поверхонь.

Після закінчення промивання молокопровідної лінії, про що свідчать значення опорів фоторезисторів 19, які отримані з фотодатчиків 17, блок керування 13 встановлює клапан циркуляції-зливу 4 в режим зливу. У результаті чого весь мийний розчин зливається до системи каналізації, а датчик рівня мийного розчину 3 показує значення 0. Після чого блок керування 13 закриває клапан всмоктування рідини на молокопровід 5, електромагнітний клапан пуску холодної води 7, електромагнітний клапан пуску гарячої води 8,

електромагнітний клапан пуску концентрату мийного розчину 10 і клапан циркуляції-зливу 4.

За необхідності весь цикл промивання повторюється.

Використання автоматичної системи промивання молокопровідної лінії доїльних установок, в якій за рахунок встановлених додаткових датчиків тиску, датчиків температури, фотодатчиків, що складаються з фотодіодів і фоторезисторів, електромагнітних клапанів пуску повітря (повітряних інжекторів) і мийного розчину (гідроінжекторів), дозволяє виконувати відповідний технологічний процес із більш високою продуктивністю і якістю при зменшенні втрат води і енерговитрат.

5.2 Методика виробничої перевірки автоматичної системи промивання молокопровідної лінії доїльних установок

Виробнича перевірка автоматичної системи промивання молокопровідної лінії доїльних установок були проведені в умовах реальних фермерських господарств ПП «АФ Батьківщина» і ПП «Радівське» по ВСГП (додаток М). На першій фермі технологічний процес доїння виконувався на доїльній установці з верхнім молокопроводом УДМ-100 «Брацлавчанка», а на другій – на доїльній установці з нижнім молокопроводом УДЕ-16 Ялинка. На обох установках використовувався автомат промивання АП-03 (БУАП-03), виробництва ТДВ «Брацлав».

Для проведення досліджень автомат промивання АП-03 (БУАП-03) було переоснащено відповідно до розробленої конструктивно-технологічної схеми (рис. 5.1). Загальний вигляд експериментальної автоматичної системи промивання молокопровідної лінії доїльних установок представлено на рис. 5.2–5.3.

На блоку керування експериментального зразка автоматичної системи промивання є можливість обирати режими промивання, відключати або включати повітряні і гідро- інжектори.



а



Б



В



Г

а – повітряний інжектор і автомат промивки; б – гідроінжектор в молокозбірнику;
в – гідроінжектор в груповому лічильнику молока; г – фотодатчика визначення
забрудненості молокопровідної лінії і повітряний інжектор

Рисунок 5.2 – Загальний вигляд розробленої автоматичної системи промивання молокопровідної лінії доїльної установки з верхнім молокопроводом УДМ-100 «Брацлавчанка» у ПП «АФ Батьківщина»



А



б



в



Г

а – блок керування повітряним інжектором; б – гідроінжектор в молокозбірнику; в – гідроінжектор в індивідуальному лічильнику молока; г – фотодатчика визначення забрудненості молокопровідної лінії і повітряний інжектор

Рисунок 5.3 – Загальний вигляд розробленої автоматичної системи промивання молокопровідної лінії доїльної установки з верхнім молокопроводом УДЕ-16 Ялинка у ПП «Радівське» по ВСГП

Виробнича перевірка проводилась для декількох режимів промивання. Фактор А – режими повітряних інжекторів представлено у таких варіантах: повітряні інжектори відключені; повітряні інжектори працюють із раціональними параметрами, які визначені в розділі 4; повітряні інжектори працюють в адаптивному режимі згідно з розділом 5.1. Фактор В – режими гідроінжекторів представлені у таких варіантах: гідроінжектори відключені; гідроінжектори працюють із раціональними параметрами, які визначені в розділі 4. Фактор С – тривалість промивання: 5 хв попереднього ополіскування, 15 хв основного промивання миючим розчином, 5 хв остаточного ополіскування; 5 хв попереднього ополіскування, 30 хв основного промивання миючим розчином, 5 хв остаточного ополіскування; 5 хв попереднього ополіскування, тривалість основного промивання миючим розчином визначається з фотодатчиків (адаптивний), 5 хв остаточного ополіскування.

Загальна кількість варіантів досліджень для обох доїльних установок становила 18, схема проведення виробничих випробувань представлена в табл. 5.1. У якості критерію випробувань було прийнято якість молока, а саме кількість мезофільних аеробних і факультативно-анаеробних мікроорганізмів, після його проходження через молокопровідну систему доїльної установки. Кількість мезофільних аеробних і факультативно-анаеробних мікроорганізмів визначалася в сертифікованій лабораторії згідно з ДСТУ ISO 4833:2006 [5] (відносна похибка вимірювань 5 %).

Також до системи водопостачання системи промивання було встановлено проточний лічильник для води NOVATOR ЛК-15Х з похибкою вимірювань ± 1 л. За допомогою зазначеного лічильника встановлювалися витрати води для кожного промивання.

Для оцінки енерговитрат доїльної установки під час промивання фіксувалися значення електrolічильника трифазного NIK2303 AP3T.1000.M.11 (похибка вимірювань $\pm 0,01$ кВт·год.), який був встановлений перед всіма навантаженнями доїльної установки (електродвигуни, нагрівачі, електронні блоки керування та ін.).

Таблиця 5.1 – Схема проведення виробничих випробувань

№	Режими повітряного інжектора (А)	Режими гідроінжекторів (В)	Тривалість промивання (С)
1	Повітряний інжектор відключений	Гідроінжектори відключені	5 хв./10 хв./5 хв.
2			5 хв./30 хв./5 хв.
3			Адаптивна
4		Гідроінжектори підключені	5 хв./10 хв./5 хв.
5			5 хв./30 хв./5 хв.
6			Адаптивна
7	Раціональні параметри	Гідроінжектори відключені	5 хв./10 хв./5 хв.
8			5 хв./30 хв./5 хв.
9			Адаптивна
10		Гідроінжектори підключені	5 хв./10 хв./5 хв.
11			5 хв./30 хв./5 хв.
12			Адаптивна
13	Адаптивні параметри	Гідроінжектори відключені	5 хв./10 хв./5 хв.
14			5 хв./30 хв./5 хв.
15			Адаптивна
16		Гідроінжектори підключені	5 хв./10 хв./5 хв.
17			5 хв./30 хв./5 хв.
18			Адаптивна

Статистичну обробку результатів дослідів проводили з використанням дисперсійного аналізу у програмах Microsoft Excel і Statistica.

5.3 Результати виробничої перевірки автоматичної системи промивання молокопроводної лінії доїльних установок

Дані щодо бактеріального забруднення молока, які отримані в результаті проведення виробничої перевірки, зведені в табл. П.1, а їх статистична обробка представлена в табл. П.4.

Аналіз отриманих даних показує, що на бактеріальне забруднення молока найбільший вплив чинить дія режимів повітряних інжекторів (фактор А) – 31,22-37,48 % і тривалість промивання (фактор С) – 54,47-57,89 %. Так найменше значення даного критерію спостерігається для варіанту із адаптивною тривалістю промивання і адаптивним режимом роботи повітряних інжекторів за підключених гідроінжекторів. Для УДЕ-16 Ялинка становить 82 тис. КУО/см³ (екстра гатунок молока), а для УДМ-100 «Брацлавчанка» –

248 тис. КУО/см³ (вищий гатунок молока). Найменша істотна різниця при цьому становить 10-12 тис. КУО/см³. Відповідно до розрахованого критерію Фішера попарна взаємодія факторів не впливає на критерій якості молока.

Графічна інтерпретація впливу режимів роботи розробленої системи промивання на кількість мезофільних аеробних і факультативно-анаеробних мікроорганізмів в молоці представлена на рис. 5.4.

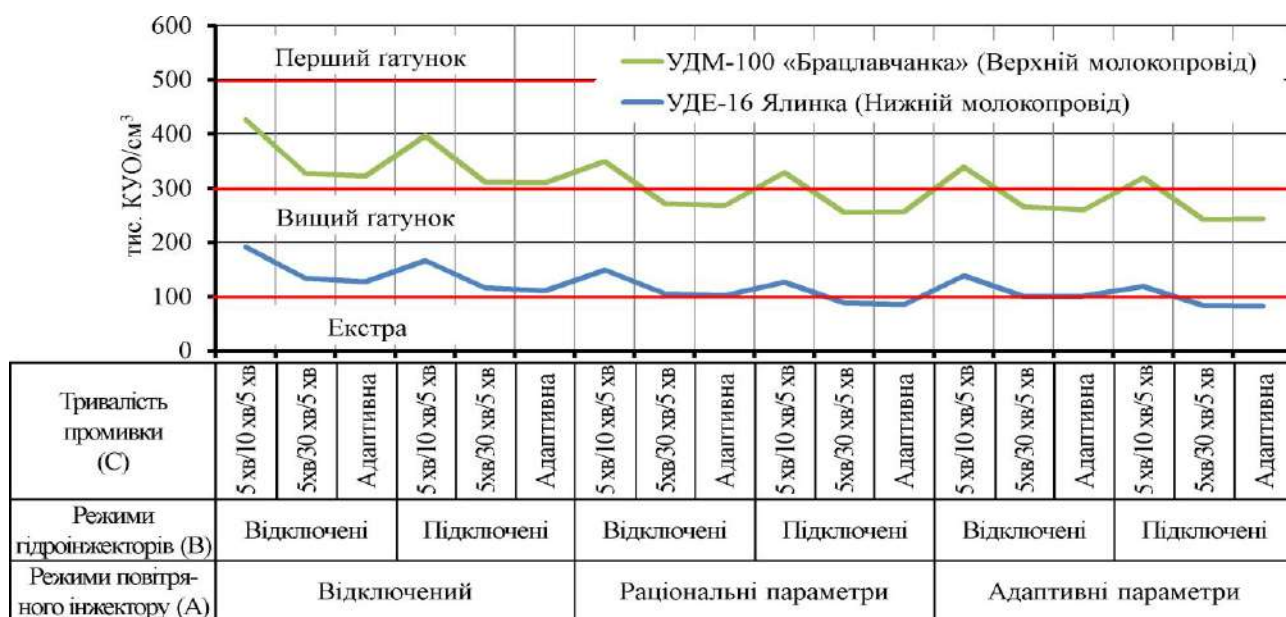


Рисунок 5.4 – Вплив режимів роботи розробленої системи промивання на кількість мезофільних аеробних і факультативно-анаеробних мікроорганізмів в молоці

Дані щодо витрат води, які отримані в результаті проведення виробничої перевірки, зведені в табл. П.2, а їх статистична обробка представлена в табл. П.5.

Аналіз отриманих даних показує, що на витрати води найбільший вплив чинить дія режимів гідроінжекторів (фактор В) – 10,60-14,58 % і тривалість промивання (фактор С) – 78,92-82,19 %. Найменші значення витрат води спостерігається для варіанту із найменшою тривалістю промивання (5 хв./10 хв./5 хв.) і адаптивним режимом роботи повітряних інжекторів за відключених гідроінжекторів. Для УДЕ-16 Ялинка становить 185 л, а для УДМ-100 «Брацлавчанка» – 268 л. Найменша істотна різниця при цьому

становить 15 л. Відповідно до розрахованого критерію Фішера попарна взаємодія факторів не впливає на критерій витрат води.

Показники витрат води залежно від тривалості промивання становили: 5 хв./15 хв./5 хв. – 185-222 л; 5 хв./30 хв./5 хв. – 257-319 л; адаптивна – 208-250 л. У свою чергу витрати води залежно від режимів повітряного і гідро інжекторів знаходились у таких діапазонах: гідроінжектори відключені – 185-286 л; гідроінжектори підключені – 197-319 л; повітряний інжектор відключений – 195-312 л; раціональні параметри – 197-319 л; адаптивні параметри – 185-287 л.

Графічна інтерпретація впливу режимів роботи розробленої системи промивання на витрати води представлена на рис. 5.5.



Рисунок 5.5 – Вплив режимів роботи розробленої системи промивання на витрати води

Дані щодо витрат електроенергії під час одного промивання, які отримані в результаті проведення виробничої перевірки, зведені в табл. П.3, а їх статистична обробка представлена в табл. П.6.

Аналіз отриманих даних показує, що на витрати електроенергії під час одного промивання доїльної установки УДЕ-16 Ялинка найбільший вплив чинить дія режимів повітряних інжекторів (фактор А) – 17,79 % і тривалість

промивання (фактор С) – 68,20 %. У свою чергу для доїльної установки УДМ-100 «Брацлавчанка» найбільший вплив чинить дія лише тривалість промивання (фактор С) – 91,34 %. Найменше значення зазначеного критерію спостерігається для базового варіанту. Для УДЕ-16 Ялинка становить 13,5 кВт·год., а для УДМ-100 «Брацлавчанка» – 21,4 кВт·год. Це є досить логічно, оскільки при базовому варіанті додаткове обладнання відключено і відповідно не споживає додаткової електроенергії. Найменша істотна різниця при цьому становить 1-1,1 кВт·год. Відповідно до розрахованого критерію Фішера попарна взаємодія факторів не впливає на критерій енерговитрат процесу.

Графічна інтерпретація впливу режимів роботи розробленої системи промивання на витрати електроенергії під час одного промивання представлена на рис. 5.6.

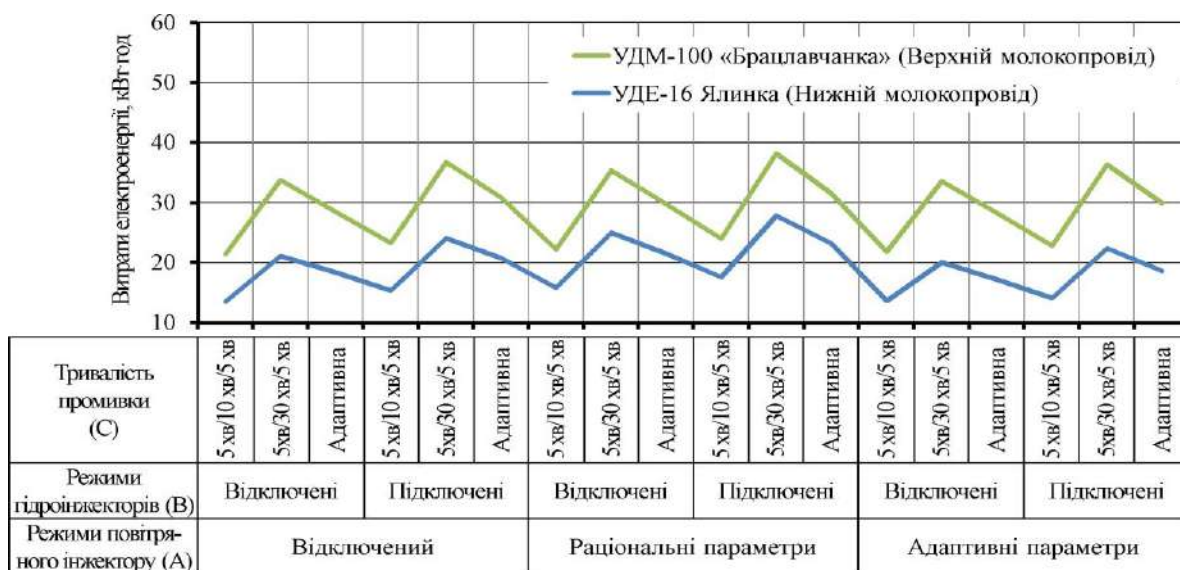


Рисунок 5.6 – Вплив режимів роботи розробленої системи промивання на витрати електроенергії

Аналіз отриманих табл. П.1-П.6 даних і відповідних рис. 5.4-5.6 не дозволяє зробити остаточний висновок стосовно ефективності використання того чи іншого варіанту режиму промивання молокопровідної системи доїльної установки. Для цього необхідно провести техніко-економічний розрахунок кожного з досліджуваних варіантів.

5.4 Техніко-економічне обґрунтування застосування автоматичної системи промивання молокопровідної лінії доїльних установок

Техніко-економічні розрахунки виконані згідно з методом економічного оцінювання техніки на етапі випробування, яка є галузевим стандартом України ДСТУ 4397:-2005 [222].

Річний економічний ефект E_p від впровадження автоматичної системи промивання молокопровідної лінії доїльних установок визначається за формулою [223]

$$E_p = \Pi_B - \Pi_H + E_{я}, \quad (5.1)$$

де Π_B, Π_H – сукупні експлуатаційні витрати для базового і нового варіанту системи промивання молокопровідної лінії доїльних установок відповідно, грн.;

$E_{я}$ – додатковий річний економічний ефект, одержаний за рахунок зміни кількості та якості отриманого молока, грн.

Річний економічний ефект, одержаний за рахунок зміни кількості та якості продукції

$$E_{я} = C_{ян} - C_{яб}, \quad (5.2)$$

де $C_{яб}, C_{ян}$ – загальна вартість молока, одержаної у разі застосування базового і нового варіанту системи промивання молокопровідної лінії доїльних установок відповідно, грн.

Загальна вартість молока визначається за формулою

$$C_{я} = \Pi_p \cdot \Pi_B, \quad (5.3)$$

де Π_p – річний надій молока у господарстві, л;

Π_B – базова ціна за 1 л молока залежно від його ґатунку, грн./л;

Сукупні експлуатаційні витрати визначаються за формулою

$$\Pi_E = З + Г + В + Р + А, \quad (5.4)$$

де $З$ – витрати на оплату праці, грн.

$Г$ – витрати на електроенергію, грн.

$$\Gamma = \Pi_E \cdot E; \quad (5.5)$$

E – річні витрати електроенергії доїльної установки під час промивання, кВт·год.;

Π_E – ціна 1 кВт·год. електроенергії, грн.;

B – витрати води під час промивання, грн.

$$B = \Pi_E \cdot W; \quad (5.6)$$

W – річні витрати води під час промивання, м³;

Π_E – ціна 1 м³ води, грн.;

P – витрати на технічне обслуговування і ремонт, грн.

$$P = B \cdot (r_{TO} + r_K); \quad (5.7)$$

B – балансована вартість доїльної установки, грн.;

r_{TO} – коефіцієнт відрахувань на поточний ремонт та технічне обслуговування;

r_K – коефіцієнт відрахувань на капітальний ремонт;

A – витрати на амортизацію, грн.

$$A = B \cdot r_A; \quad (5.8)$$

r_{TO} – коефіцієнт відрахувань на амортизацію.

У зв'язку з тим, що базовий від нового варіанту системи промивання молокопровідної лінії доїльних установок не відрізняється за кількістю обслуговуючого персоналу і часу їх роботи, то в формулі (5.4) опустимо витрати на оплату праці і перепишемо її у вигляді

$$\Pi_E = \Gamma + B + P + A. \quad (5.9)$$

Вихідні дані для проведення техніко-економічного розрахунку представлені в табл. 5.2.

Таблиця 5.2 – Вихідні дані для проведення техніко-економічного розрахунку

Показник	Значення
Поголів'я, гол.	100
Середній річний надій від однієї коррови, кг	5000
Період лактації, днів	305
Кратність доїння	2
Ціна на воду, грн./м ³	18,45
Ціна електроенергії, грн./кВт·год	1,90
Ціна на молоко "Екстра", грн./кг	9,84
Ціна на молоко "Вищий ґатунок", грн./кг	9,45
Ціна на молоко "Перший ґатунок", грн./кг	9,31

Враховуючи отримані дані з розділу 5.3 і зазначені вище формули (5.1)-(5.9) проведемо техніко-економічний розрахунок кожного з досліджуваних варіантів, результати якого представлені в табл. Р.1, Р.2.

Графічне представлення структури питомих витрат кожного з досліджуваних варіантів для двох типів доїльних установок наведено на рис. 5.7-5.8. Аналіз рисунків показує, що загальні питомі витрати для доїльної установки УДМ-100 «Брацлавчанка» вище (0,13-0,19 грн./кг), ніж для УДЕ-16 Ялинка (0,11-0,16 грн./кг).

Відповідно до табл. П. і рис. 5.4 можна зробити висновок про ґатунок отриманого молока після проходження через промиту молокопровідну систему доїльної установки. Залежно від ґатунку формується вартість отриманого молока згідно з формулою (5.3). Взнявши за базу перший варіант системи промивання (без додаткового техніко-технологічного забезпечення) отримуємо питомий додатковий економічний ефект залежно від режиму системи промивання (рис. 5.9).

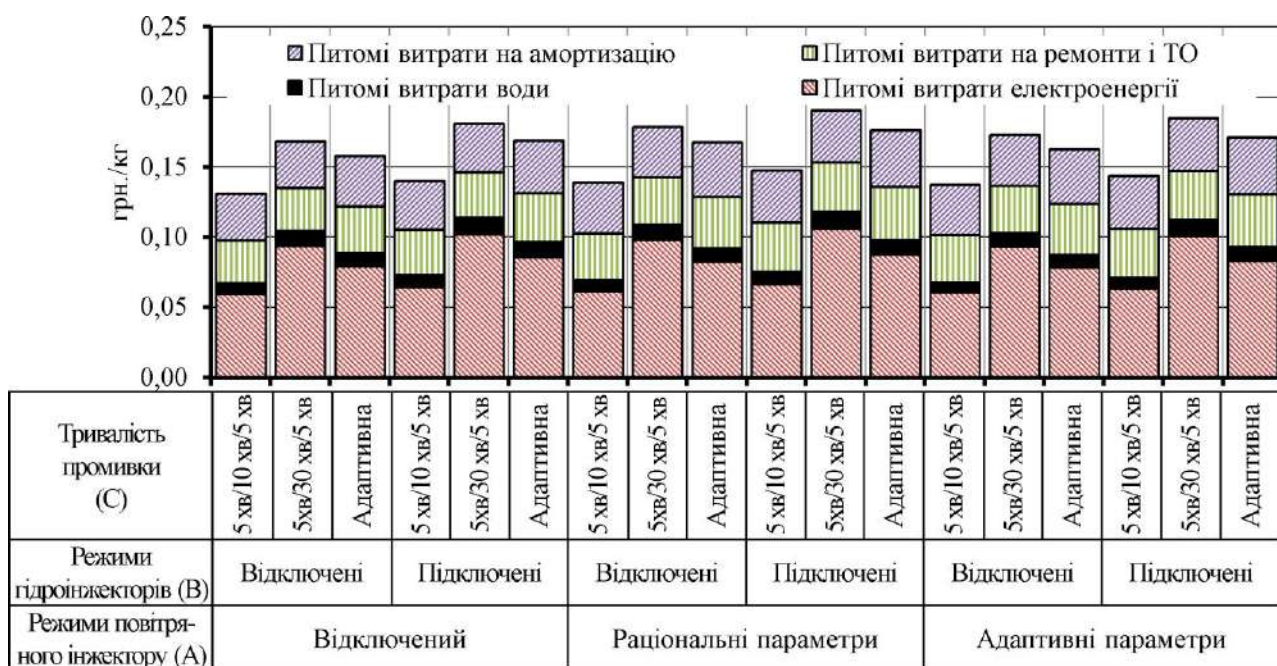


Рисунок 5.7 – Структура питомих витрат по кожному з досліджуваних варіантів для доїльної установки УДМ-100 «Брацлавчанка»

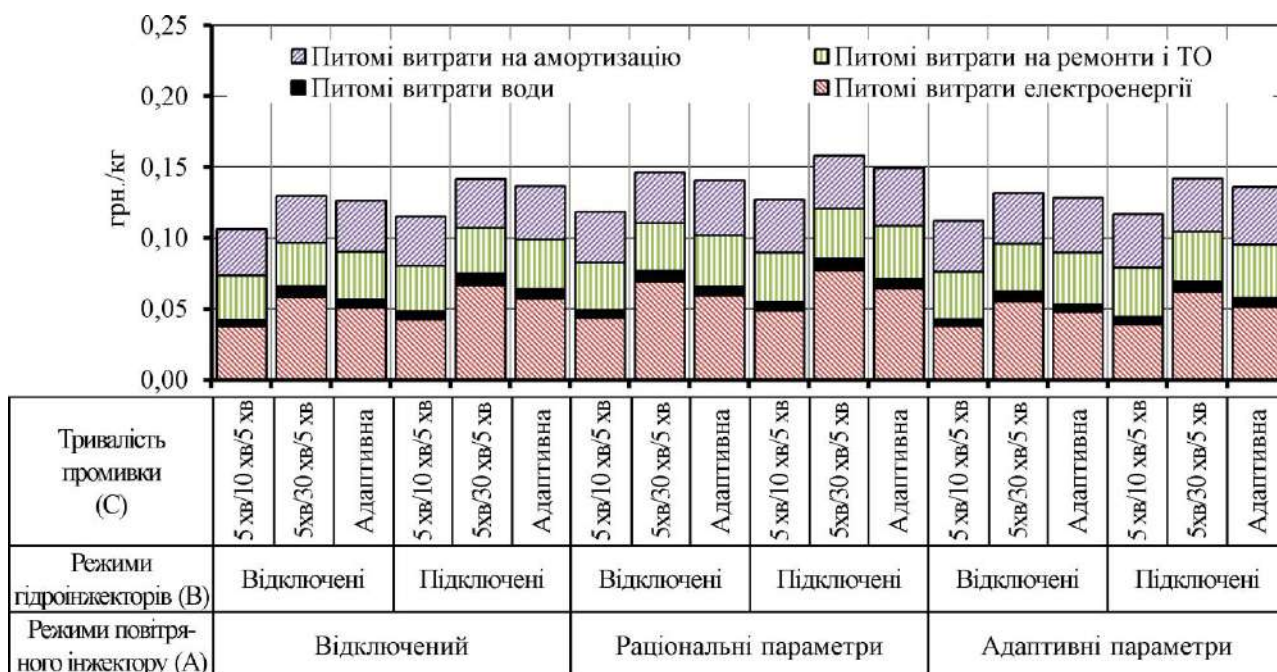


Рисунок 5.8 – Структура питомих витрат кожного з досліджуваних варіантів для доїльної установки УДЕ-16 Ялинка

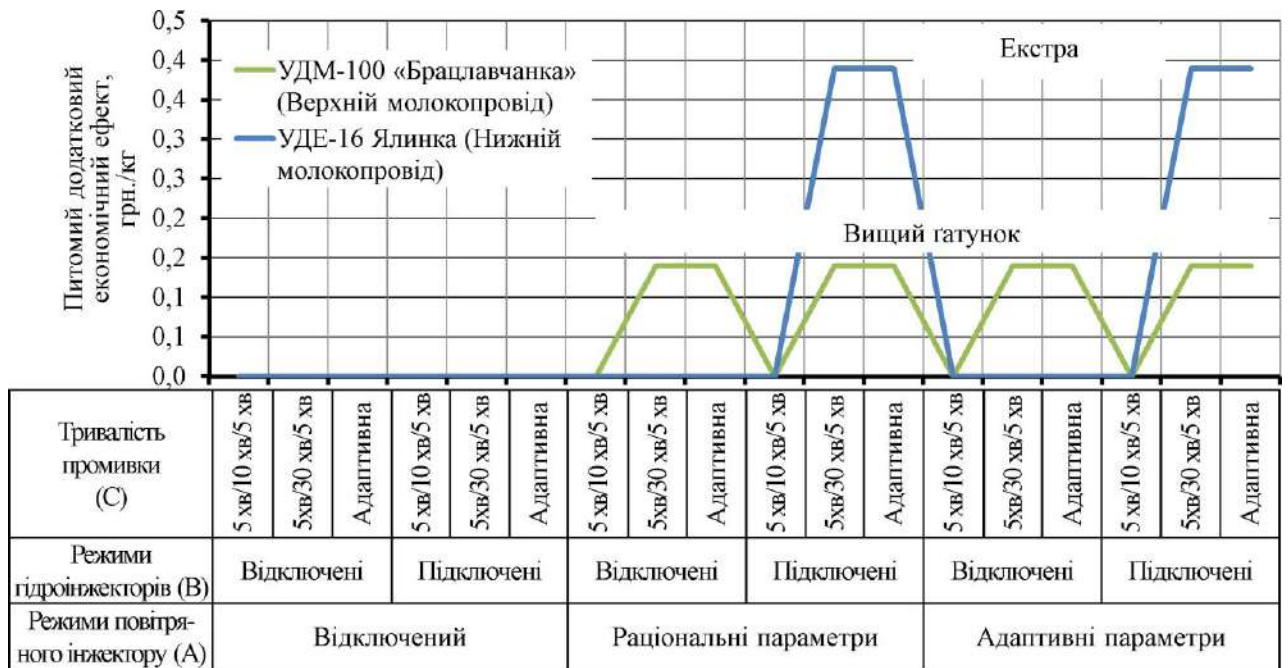


Рисунок 5.9 – Залежність питомого додаткового економічного ефекту від режиму системи промивання

Взявши різницю питомого додаткового економічного ефекту і питомих загальних витрат, отримуємо питомий економічний ефект (на 1 кг молока) використання розробленої автоматичної системи промивання молокопровідної лінії доїльних установок для різних режимів (рис. 5.10).

З рис. 5.10 видно, що для доїльної установки УДМ-100 «Брацлавчанка» відсутність повітряного інжектора призводить до того, що експлуатаційні витрати перевищують додатковий економічний ефект. А найбільший питомий економічний ефект (0,11 грн./кг) спостерігається для варіанту із адаптивною тривалістю промивання і адаптивним режимом роботи повітряних інжекторів за відключених гідроінжекторів. Дійсно в поданому випадку наявність гідроінжекторів збільшує питомі експлуатаційні витрати при незначному поліпшенні якості молока.

Інша картина спостерігається для доїльної установки УДЕ-16 Ялинка: найбільший питомий економічний ефект (0,36 грн./кг) спостерігається для варіанту із адаптивною тривалістю промивання і адаптивним режимом роботи повітряних інжекторів за підключених гідроінжекторів.

Тобто можна зробити висновок про те, що для різних типів доїльних установок необхідно використовувати відповідні режими роботи розробленої автоматичної системи промивання молокопровідної лінії.

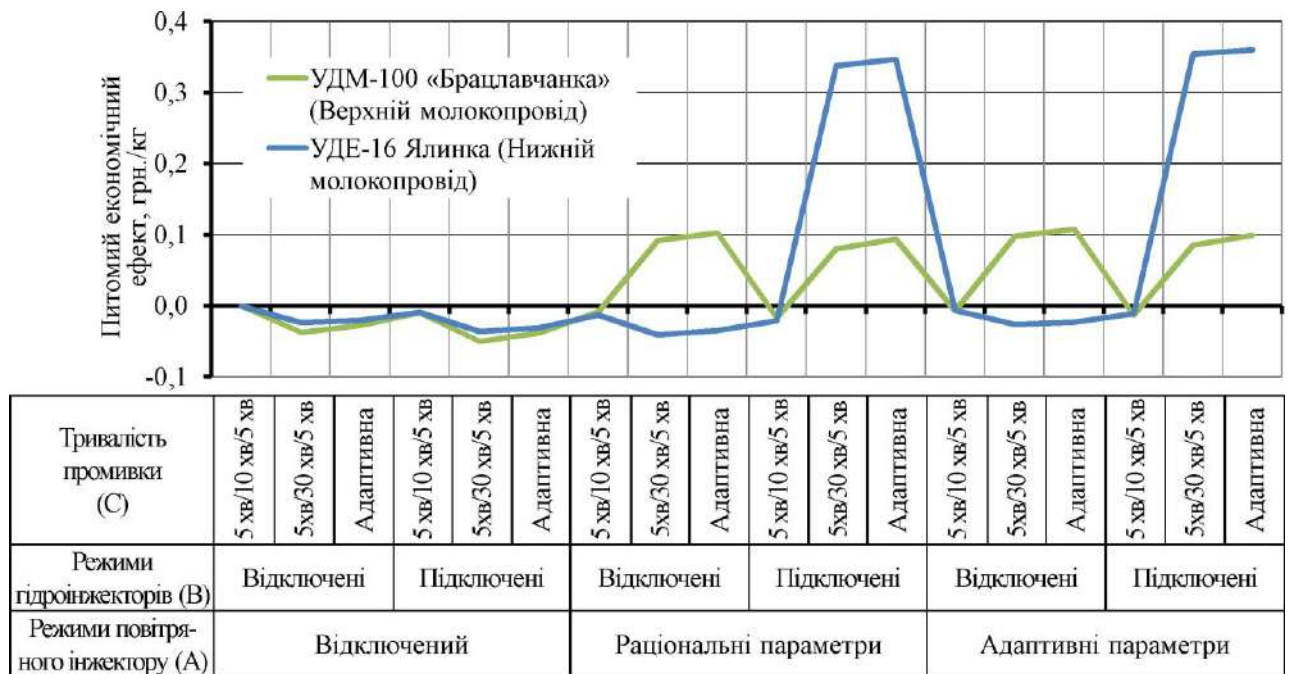


Рисунок 5.10. – Залежність питомого економічного ефекту від режиму системи промивання

5.5 Упровадження результатів досліджень

На основі результатів теоретичних та експериментальних досліджень розроблено конструкторську і технічну документацію на автоматичну систему промивання молокопровідної лінії доїльних установок різних типів, які були впроваджені на підприємстві з виробництва, монтажу і ремонту доїльних установок: ТДВ «Брацлав», смт. Брацлав, Вінницька обл., провідний дилер GEA Farm Technologies ПП «Агромех Плюс», м. Дніпро (Додаток С).

Результати виробничої перевірки автоматичної система промивання молокопровідної лінії доїльних установок прийняті та використані фермерськими господарствами ПП «АФ Батьківщина» і ПП «Радівське» по ВСГП (Додаток П).

Результати досліджень з чисельного моделювання руху двофазного мийного розчину молокопровідною лінією доїльної установки і процесу функціонування автоматизованої системи промивання використовуються при викладанні окремих частин навчальних дисциплін «Машини та обладнання для тваринництва», «Машини і обладнання та їх використання в тваринництві», «Технічне обслуговування машин та обладнання» на кафедрі машин та обладнання сільськогосподарського виробництва інженерно-технологічного факультету ВНАУ (Додаток Т).

5.6 Висновки з розділу

1. На основі отриманих математичних моделей процесу роботи промивання доїльних установок із повітряним і гідро- інжекторами, а також фотодатчика визначення забрудненості молокопровідної лінії доїльної установки розроблено автоматичну систему її промивання, використання якої дозволяє виконувати відповідний технологічний процес із більш високою продуктивністю і якістю при зменшенні витрат води і енерговитрат.

2. У результаті виробничої перевірки режимів роботи автоматичної система промивання молокопровідної лінії доїльних установок встановлено, що найменше значення мікробіологічного забруднення молока (кількості мезофільних аеробних і факультативно-анаеробних мікроорганізмів) спостерігається для варіанту із адаптивною тривалістю промивання і адаптивним режимом роботи повітряних інжекторів за підключених гідроінжекторів. Для УДЕ-16 Ялинка становить 82 тис. КУО/см³ (екстра гатунок молока), а для УДМ-100 «Брацлавчанка» – 248 тис. КУО/см³ (вищий гатунок молока).

3. Унаслідок виробничої перевірки режимів роботи автоматичної системи промивання молокопровідної лінії доїльних установок встановлено, що найменші значення витрат води спостерігаються для варіанту із найменшою тривалістю промивання (5 хв./10 хв./5 хв.) і адаптивним режимом роботи

повітряних інжекторів за відключених гідроінжекторів. Для УДЕ-16 Ялинка становить 185 л, а для УДМ-100 «Брацлавчанка» – 268 л. Найменше значення енерговитрат спостерігається для базового варіанту системи промивання (без додаткового обладнання). Для УДЕ-16 Ялинка становить 13,5 кВт·год., а для УДМ-100 «Брацлавчанка» – 21,4 кВт·год.

4. За результатами техніко-економічних розрахунків встановлено, що для доїльної установки УДМ-100 «Брацлавчанка» найбільший питомий економічний ефект (0,11 грн./кг) спостерігається для варіанту із адаптивною тривалістю промивання і адаптивним режимом роботи повітряних інжекторів за відключених гідроінжекторів. Для доїльної установки УДЕ-16 Ялинка найбільший питомий економічний ефект (0,36 грн./кг) спостерігається для варіанту із адаптивною тривалістю промивання і адаптивним режимом роботи повітряних інжекторів за підключених гідроінжекторів.

Основні наукові результати розділу опубліковано в працях автора [224].

ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі вирішено проблему підвищення ефективності процесу промивання доїльних установок за рахунок використання інтегрованих в систему повітряних та гідравлічних інжекторів, раціональні режими роботи яких забезпечуються системою автоматизованого контролю.

1. Аналіз чинників зниження гатунку молока в наслідок бактеріального забруднення показав, що це є результатом неякісного виконання технологічної операції промивання доїльних установок та утворення молочних відкладень на внутрішніх поверхнях молокопровідної системи. В результаті аналізу існуючих конструкцій техніко-технологічного забезпечення промивання встановлено, що найбільш ефективними є циркуляційні системи промивання із регульованим утворенням пробкового режиму. Для підвищення ефективності і ресурсозбереження (зменшенням споживання витрат повітря, гарячої води, енергії і експлуатаційних витрат) процес промивання доїльних установок повинен бути адаптивним на основі даних, отриманих із засобів контролю оцінки стану поверхонь молокопровідної системи і гідродинамічних параметрів руху двофазного мийного розчину, що досягається використанням повітряних і гідро- інжекторів на базі автоматизованого керування.

2. Аналітичні дослідження явища адгезії між молочними відкладеннями і поверхнею молокопровідної лінії дозволили встановити залежність найменшої допустимої швидкості руху мийного розчину, що забезпечує руйнування молочних відкладень від їх фізико-механічних властивостей (краєвих кутів β , γ і поверхневого натягу між миючим розчином і відкладенням σ_{ml}), при різних діаметрах молокопровідної лінії D_m . Так для діаметру молокопровідної лінії 50 мм найменша допустима швидкість руху мийного розчину складає 1,33 м/с, а для 70 мм – 1,06 м/с.

3. Розроблено математичну модель руху двофазного мийного розчину молокопровідною лінією, яка базується на рівняннях принципу суперпозиції

сил і, як наслідок, тисків, неперервності течії, законів збереження мас, імпульсу і енергії з урахуванням явища гідравлічного удару, що виникає внаслідок дії періодично працюючого повітряного інжектора, інтегрованого в систему промивання. Розроблено математичну модель руху двофазного мийного розчину молокопровідною лінією з урахуванням явища гідравлічного удару, що виникає внаслідок дії періодично працюючого повітряного інжектора, інтегрованого в систему промивання. Вирішуючи задачу оптимізації режимних параметрів повітряного інжектора, що відповідають критеріям мінімізації значення товщини шару молока на стінці молокопроводу і мінімізації швидкості зміни тиску для різних значень діаметра молокопроводу, отримані наступні раціональні параметри: при $D = 50$ мм: $p_w = 45,0$ кПа, $t_{inj} = 3,8$ с, $t_p = 2,9$ с, $h_m = 0,243$ мм, $\Delta p/\Delta t = 27,38$ кПа/с; при $D = 60$ мм: $p_w = 57,5$ кПа, $t_{inj} = 3,6$ с, $t_p = 2,5$ с, $h_m = 0,306$ мм, $\Delta p/\Delta t = 35,32$ кПа/с; при $D = 70$ мм: $p_w = 74,5$ кПа, $t_{inj} = 3,4$ с, $t_p = 2,1$ с, $h_m = 0,406$ мм, $\Delta p/\Delta t = 43,42$ кПа/с.

4. Розроблено математичну модель роботи гідравлічного інжектора, інтегрованого в систему промивання. Отримані залежності радіуса ділянки удару струменя і його тиску на поверхню молокопровідної системи від внутрішнього діаметра насадки, відстані до неї, при різних значеннях тиску на виході насадки. Визначено раціональні значення конструктивних параметрів гідравлічного інжектора, що забезпечують руйнування молочних відкладень: $d_n = 2,1$ мм, $H_j = 0,166$ м, $R_a = 0,0236$ м.

5. На основі отриманих математичних моделей процесу роботи промивання доїльних установок із повітряним і гідро- інжекторами, а також фотодатчика визначення забрудненості молокопровідної лінії (в межах від 0 до 1,93 мм) доїльної установки розроблено відповідну систему автоматизації, що дозволяє керувати режимними параметрами роботи інжекторів в залежності від рівня забрудненості молочними відкладеннями молокопровідного обладнання доїльних установок шляхом використання інтегрованого в молокопровід фотодатчика.

6. У результаті проведення лабораторних експериментальні досліджень запропонованої системи автоматизації контролю режимних параметрів роботи повітряних та гідравлічних інжекторів отримані параметри їх роботи (тиск на виході насадки $p_n = 500$ кПа, відстань між насадкою і поверхнею $H_j = 0,191$ м і її внутрішній діаметр $d_n = 1,75$ мм), що забезпечують найбільше значення ступеня чистоти молокопроводного обладнання ($\chi = 40,1$ %). Наочне і статистичне (за критерієм Фішера $F = 1,68 < F_{0,05}(6, 30) = 2,42$ і коефіцієнтом кореляції $R = 0,97$) порівняння результатів експериментальних та теоретичних досліджень встановлено розбіжність 5-6 %, що підтверджує адекватність розроблених математичних моделей та достовірність отриманих в ході проведення чисельних розрахунків даних.

7. У результаті виробничої перевірки найменше значення мікробіологічного забруднення молока для УДЕ-16 Ялинка – 82 тис. КУО/см³ (екстра гатунок молока), для УДМ-100 «Брацлавчанка» – 248 тис. КУО/см³ (вищий гатунок молока) отримано при використанні варіанту компонування автоматизованої системи промивання з інтегрованими повітряними інжекторами, працюючими та підключеними гідроінжекторами. Найбільший питомий економічний ефект для УДМ-100 «Брацлавчанка» (0,11 грн./кг) отримано з варіантом компонування повітряними інжекторами, працюючими при адаптивних режимах та відключених гідроінжекторах, а для УДЕ-16 Ялинка (0,36 грн./кг) – з варіантом із адаптивною тривалістю промивання, адаптивному режимі роботи повітряних інжекторів та підключених гідроінжекторах.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. ДСТУ 3662-97. (1997). Молоко коров'яче незбиране. Вимоги до закупівлі. К.: Держспоживстандарт України.
2. ДСТУ 3662:2018. (2019). Молоко-сировина коров'яче. Технічні умови. К.: ДП «УкрНДНЦ».
3. ДСТУ 7357:2013. (2013). Молоко та молочні продукти. Методи мікробіологічного контролювання. К.: ДП «УкрНДНЦ».
4. ДСТУ 7089:2009. (2009). Молоко і молочні продукти. Методика підрахування кількості мезофільних аеробних та факультативно-анаеробних мікроорганізмів, дріжджів і плісневих грибів за допомогою пластин. К.: ДП «УкрНДНЦ».
5. ДСТУ ISO 4833:2006. (2006). Мікробіологія харчових продуктів і кормів для тварин. Горизонтальний метод підрахунку мікроорганізмів. Техніка підрахування колоній за температури 30 °С. К. : ДП «УкрНДНЦ».
6. ДСТУ IDF 100B:2003. (2003). Молоко і молочні продукти. Визначення кількості мікроорганізмів. Метод підрахунку колоній за температури 30 °С. К.: ДП «УкрНДНЦ».
7. ДСТУ ISO 13366-1/IDF 148-1:2014. (2014). Молоко. Підрахування соматичних клітин. Частина 1. Мікроскопічний (контрольний) метод). К.: ДП «УкрНДНЦ».
8. ДСТУ ISO 13366-2/IDF 148-2:2014. (2014). Молоко. Підрахування соматичних клітин. Частина 2. Настанови щодо використання флуоро-опто-електронних лічильників. К.: ДП «УкрНДНЦ».
9. ДСТУ 7672:2014. (2014). Молоко коров'яче. Визначення кількості соматичних клітин методом проточної цитометрії (експрес-метод). К.: ДП «УкрНДНЦ».
10. Дегтерев, Г. П., Рекин, А. М. (2000). Новые моющие-дезинфицирующие средства. Молочная промышленность. № 4. С. 445–448.

11. Демчук, М., Войтюк, Л. (2007). Гігієна доїння корів та якість молока. Ветеринарна медицина України. № 4. С. 40–42.
12. Касянчук, В., Бергилевич, О., Крижанівський, Я. (2006). Організація ветеринарно-санітарного контролю виробництва молока коров'ячого на фермі відповідно до вимог СОТ. Ветеринарна медицина України. № 7. С. 38.
13. Крижанівський, Я. (2008). Санітарно-гігієнічні нормативи технології одержання молока. Ветеринарна медицина України. № 2. С. 45–46.
14. Дегтерев, Г. П. (2000). Качество молока в зависимости от санитарного состояния доильного оборудования. Молочная промышленность. № 5. С. 23–26.
15. Березуцкий В. И. (2000). Совершенствование технологии циркуляционной мойки молокопровода доильной установки УДС-3А: Дис. ... канд. техн. наук. Зерноград. 158 с.
16. Котелевич, В. А., Згозінська, О. А. (2014). Ветеринарно-санітарна оцінка молока, отриманого від корів у Дослідному господарстві «Городецьке», Володимирецького району, Рівненської області. Науково-технічний бюлетень НДЦ біобезпеки та екологічного контролю ресурсів АПК. Т.2. № 3. С.106–110.
17. Цой, Ю. А., Мамедова, Р. А. (2007). Параметры пробкового режима течения жидкости в молокопроводе при промывке. Техника в сельском хозяйстве. М. Вып. 2. С. 3–4.
18. Дудін, В. Ю., Тимощенко, А. М. (2016). Системи промивки доїльних установок. Materiały XII Międzynarodowej naukowo-praktycznej konferencji «Kluczowe aspekty naukowej działalności – 2016» Volume 8. Matematyka. Fizyka. Budownictwo i architektura. Rolnictwo. Techniczne nauki.: Przemysł. Nauka i studia. Str. 33–35.
19. Емцев, В. Т., Шильникова, В. К. Микробиология. М.: Агропромиздат, 1990. 191 с.
20. Палій, А. П. (2015). Встановлення чинників, які впливають на процес промивання молокопроводу. Вісник Полтавської державної аграрної академії. Полтава. № 1–2. С. 80–83.

21. Палій, А. П. (2014). Дослідження процесу промивання доїльних установок. Науковий вісник Львівського національного університету ветеринарної медицини та біотехнологій ім. С. З. Гжицького. Львів. Т. 16. № 2 (59). Ч. 3. С. 156–161. (Серія «Вет. науки», «С.-г. науки»).

22. Фокіна, А. О. (2017). Гігієна доїння корів. Студентський науковий вісник [МНАУ]. 2017. Вип. 2 (10): Сільськогосподарські науки. С. 264–269.

23. Кривохижа, Є. М., Жукорський, О. М., Никифорок, О. В., Лесик, О. Б. (2016). Екологічні ризики проведення санітарної обробки доїльно-молочного обладнання у особистих селянських господарствах. Розведення і генетика тварин. № 51. С. 310–318.

24. Крижанівський, Я. Й. (2004). Методичні підходи до визначення бактеріологічних нормативів ефективності технологій одержання молока. Ветеринарна біотехнологія. Бюл. № 4. С. 115–119.

25. ISO 3918. (2007). Milking machine installations – Vocabulary. Geneva, Switzerland: The International for Standardization Organization. 42 p.

26. ISO 5707. (2007). Milking machine installations – Construction and performance. Geneva, Switzerland: The International for Standardization Organization. 52 p.

27. ISO 6690. (2007). Milking machine installations – Mechanical tests. Geneva, Switzerland: The International for Standardization Organization. 46 p.

28. Шевченко, І. А., Алієв, Е. Б. (2013). Науково-методичні рекомендації з багатокритеріального виробничого контролю доїльних установок. Запоріжжя: Акцент Інвест-трейд. 156 с. ISBN 978-966-2602-41-VIII.

29. Линник Ю. Шляхи усунення дестабілізації вакуумного режиму доїльних установок. Техніко-технологічні аспекти розвитку та випробування нової техніки і технологій для сільського господарства України: збірник наук. пр. ДНУ УкрНДПВТ ім. Л. Погорілого. Дослідницьке, 2014. № 18 (32). С. 278–283.

30. Дмитрів, В. Т. (2016). Механіко-технологічні основи підвищення ефективності доїльних установок. Дис. ... д-ра техн. наук. Глеваха. 467 с.

31. Москаленко С., Ліщинский С. (2010). Методика комплексної оцінки ефективної експлуатації доїльних установок. Техніка і технологія АПК. № 8 (11). УкрНДІПВТ ім. Л. Погорілого. С. 29–31.

32. Фененко, А. І. (1997). Техніко-технологічні аспекти удосконалення молоковакуумних систем доїльних установок: дис. доктора техн. наук: 05.20.01. Глеваха: ІМЕСГ УААН. 358 с.

33. Фененко, А. І. (2008). Техніко-технологічні параметри біотехнічної ланки «машина-тварина» процесу виробництва молока. Молочное дело. № 3. С. 50–51.

34. Карташов, Л. П. (1967). Контроль за работой доильных установок. Челябинск : Южно-Уральское кн. изд-во. 52 с.

35. Карташов, Л. П., Куранов, Ю. Ф. (1980). Машинное доение коров: учеб. пособие для сред. сел. проф.-техн. уч-щ. М. : Высш. школа. 223 с.

36. Карташов, Л. П. (1982). Машинное доение коров. М. : Колос. 301 с.

37. Ведищев, С. М. (2006). Механизация доения коров: Учеб. пособие. Тамбов : Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та. 160 с.

38. Хмельовський, В. С., Павленко, С. І., Линник, Ю. О., Дудін, В. Ю., Алієв, Е. Б. (2017). Механіко-технологічні основи використання вакуумних насосів доїльних установок: монографія. К. : ЦП "Компринт". 177 с. ISBN 978-966-929-645-0.

39. Механизация и автоматизация производства молока : монография / [В. В. Адамчук, А. И. Фененко, В. Т. Дмитрив и др.]; под. общ. ред. В. В. Адамчука, Фененка. Нежин: Издатель ЧП Лисенко Н.М., 2013. 324 с.

40. Дмитрів, В. Т. (2008). Основи теорії машиновикористання в тваринництві б. [для студ. вищ. навч. закл.]. Львів : Афіша. 260 с.

41. Dmytriv, V. (2007). Dynamic characteristics of hydropneumatic milking systems. Zbornik radova: proceedings. Opatija, Croatia. February 13–16. P. 332-335.
42. Луценко, М., Зволейко, Д. (2012). Дослідження процесу доїння корів у спеціалізованих доїльних залах. Техніка і технології АПК. № 9 (36). С. 31–34.
43. Кирсанов, В. В. (2001). Структурно-технологическое обоснование эффективного построения и функционирования доильного оборудования : Дис. ... д-ра техн. наук. Москва. 469 с.
44. Цой, Ю. А., Мишуров, Н. П., Кирсанов, В. В., Зеленцов, А. И. (2000). Тенденции развития доильного оборудования за рубежом (Аналитический обзор). М. : ФГНУ «Росинформагротех». 76 с.
45. ISO 4288 (1996). Geometrical Product Specifications (GPS) — Surface texture: Profile method — Rules and procedures for the assessment of surface texture. Geneva, Switzerland: The International for Standardization Organization. 11 p.
46. Мартиненко, І. І. (1995). Автоматизація технологічних процесів сільськогосподарського виробництва. К.: Урожай, 1995. 224 с.
47. Жмырко, А. М. (2005). Обоснование параметров и режимов работы системы мойки молокопровода доильных установок для доения коров в стойлах: Дис. ... канд. техн. наук. зерноград. 159 с.
48. Пунько, А. И. (2006). Обоснование параметров автомата промывки доильной установки АП-100. Вестн Нацыянальнай Акадэмі Навук Беларусь. №5. С. 199-201.
49. Мамедова, Р. А. (2008). Интенсификация циркуляционной промывки доильных установок: Дис. ... канд. техн. наук. Москва. 163 с.
50. 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 intensyfikacji produkcji zwierzeczej z uwzględnieniem ochrony srodowiska i standardow UE. Warszawa. P. 355–359.

51. Цой, Ю. А., Мамедова, Р. А. (2006). Исследования пробкового режима движения жидкости при промывке молокопровода. Новые направления развития технологий и технических средств в молочном животноводстве Сб научных трудов XIII Международного симпозиума по вопросам машинного доения сельскохозяйственных животных. Минск. С 92–97.

52. Бойко, А. Я., Зеленцов, А. И., Мамедова, Р. А. (2006). Технологические основы и опыт создания программируемых автоматов промывки доильного оборудования. Сб. материалов научн.-практ. конф., посвященной 55-летию ПГСХА. Пенза. С. 239–241.

53. Бойко, А. Я., Барский, П. К., Мамедова, Р. А. (2008). Обоснование параметров водосберегающих режимов циркуляционной промывки доильных установок. Энергообеспечение и энергосбережение в сельском хозяйстве. Труды 6-й международной научно-технической конференции. Ч. 3. М. ГНУ ВИЭСХ. С. 153–156.

54. Королёв, А. С. (2010). Разработка методов и технических средств для оценки качества очистки молочных линий доильных установок : Дис. ... канд. техн. наук. Оренбург. 129 с.

55. Матвеев, В. Б. (2011). Повышение эффективности промывки доильных установок на основе пневмомеханического интенсификатора с активными рабочими органами : Дис. ... канд. техн. наук. Москва. 141 с.

56. Палій, А. П. (2018). Обґрунтування, розробка та ефективність застосування інноваційних технологій і технічних рішень у молочному скотарстві : Дис. ... докт. с.-г. наук. Миколаїв. 382 с.

57. Reinemann, D. J. (1995). System Design and Performance Testing for Cleaning Milking Systems. Proc. Designing a Modern Milking Center, Northeast Regional Agricultural Engineering Services National Conference, Rochester New York, Nov. 29 dec. I.

58. Палій, А. П. (2014). Дослідження процесу очищення доїльних установок різного типу після доїння. Науково-технічний бюллетень. НААН, Ін-т тваринництва. Харків. № 112. С. 109–114.

59. Кирсанов, В. В. (2001). Структурно-технологическое обоснование эффективного построения и функционирования доильного оборудования. Дис. ... докт. техн. наук. Москва. 470 с.

60. Жмырко, А. М. (2002). Основные закономерности очистки молокопровода с применением периодической подачи упругих пробок в моющую жидкость. Совершенствование процессов и технических средств в АПК. Зелноград. Вып. 4. С. 38–40.

61. Жмырко, А. М. (2003). Усовершенствованная система мойки молокопроводов увеличенного диаметра. Научная молодежь – Агропромшленному комплексу. Зелноград. С. 128–130.

62. Жмырко, А. М. (2003). Динамика пневмопривода устройства подачи воздуха в систему очистки молокопровода от загрязнений. Физ.-техн. проблемы создания нов. технологий в АПК: Сб. науч. тр. Ставрополь. Т. II. С. 411-415.

63. Краснов, И. Н., Жмырко, А. М. (2003). Исследование течений газожидкостных смесей по молокопроводу доильных установок в процессе его мойки. Совершенствование процессов и технических средств в АПК. Зелноград. Вып. 5. С. 25–29.

64. Жмырко, А. М. (2005). Качество очистки деталей молокопровода от загрязнений при его циркуляционной мойке. Совершенствование процессов и технических средств в АПК. Зелноград, 2005. С. 62–65.

65. Жмырко, А. М. (2005). Обоснование режимов очистки молокопровода увеличенного диаметра от загрязнений. Совершенствование процессов и технических средств в АПК. Зелноград. С. 59–62.

66. Краснов, И. Н., Жмырко, А. М. (2005). Совершенствование технологии очистки от загрязнений молокопроводов увеличенного диаметра.

Известия высш. уч. заведений. Северокавказский регион. Технические науки. С. 56–62.

67. С2 2220566 RU 7 А 01 J 7/02, В 08 В 9/027. Устройство для промывки молокопроводов доильных установок. Краснов И. Н., Жмырко А. М. (Азово-Черноморская гос. агроинж. академия). № 2002102301; Заявл. 25.01.2002. Изобретения. 2004. № 1. С. 574.

68. С2 2233581 RU 7 А 01 J 7/00. Устройство для промывки молокопроводов доильных установок. Краснов И. Н., Жмырко А. М. (Азово-Черноморская гос. агроинж. академия). № 2002129176; Заявл. 31.10.2002. Изобретения. 2004. № 22. С. 353.

69. Патент на корисну модель UA 110859 U, МПК А01J 7/02 (2006.01) Пристрій для промивання молокопровідних систем доїльних установок. Палій А. П.; заявник Палій А. П. № u 2016 03632; заявл. 05.04.2016; опубл. 25.10.2016, Бюл. № 20, 2016 р.

70. Палій, А. П. (2016). Контроль очищення молокопровідної лінії на основі технологічних інновацій. Вісник аграрної науки. № 10. С. 26–29.

71. Палій, А. (2015). Технологічні інновації у визначенні чистоти доїльного обладнання. Тваринництво України. № 9. С. 5–8.

72. Патент на корисну модель UA 62161 U, МПК А01J 7/00. Пристрій для визначення санітарно-гігієнічного стану доїльного обладнання. Палій А.П., Палій А.П., Шепетко Ю.В. № u201102231; Заявл. 25.02.2011; Опубл. 10.08.2011 Бюл. № 15, 2011.

73. Палій, А. П. (2016) Оцінювання чистоти зовнішньої поверхні доїльно-молочного устаткування. Вісник аграрної науки Причорномор'я : міжвідом. темат. наук. зб. Миколаїв. нац. аграр. ун-т. Миколаїв. Вип. 1 (88). С. 118–124.

74. Пат. на корисну модель № 113770 UA, МПК А01J7/00, А01J7/02. Стенд для дослідження чистоти промивання молокопроводу доїльних установок. А. П. Палій. № u 201608959; заявл. 22.08.2016; опубл. 10.02.2017; Бюл. № 3.

75. Блок управления автоматом промывки БУАП-03 (версии 3.0 и 3.1) WM-TURBO. Паспорт, техническое описание и инструкция по эксплуатации. (2017). Вінниця. ВАТ «Брацлав». 14 с.

76. Указания к проведению электромонтажных работ электронных устройств для доильного оборудования. (2014). Вінниця. ВАТ «Брацлав». 81 с.

77. Эффективная промывка. Проспект фирмы De Laval. 2018. 25 с.

78. Инструкция по эксплуатации и монтажу автомата промывки SineTherm. Инструкция фирмы GEA Farm Technologies. 2010. 210 с.

79. Системная книга фирмы De Laval: Автомат промывки C100E. 2003. 95 с.

80. Руководство по эксплуатации автомата промывки E.M.W. Инструкция фирмы PANAZOO. 2005. 25 с.

81. Инструкция по эксплуатации автомата промывки TOP WASH. Инструкция фирмы InterPuls. 2008. 22 с.

82. Руководство по установке и обслуживанию автомата промывки UNIWASH2. Инструкция фирмы SAC. 2003. 90 с.

83. Матвеев, В. Ю., Кирсанов В. В. (2011). Интенсификация и энергосбережение в системах промывки молокопроводов доильных установок. Сб. научн. трудов. Научно-технический прогресс в животноводстве – инновационные технологии и модернизация в отрасли: Т. 21, Ч. 4. М.: ВНИИМЖ. С. 9–14.

84. Кирсанов В. В., Матвеев, В. Ю. (2011). Теоретическое обоснование механического устройства с активным рабочим органом для очистки молокопроводов доильных установок. Сб. научн. трудов. Научно-технический прогресс в животноводстве – инновационные технологии и модернизация в отрасли: Т. 21, Ч. 4. М. : ВНИИМЖ. С. 9-14.

85. Кирсанов В. В., Матвеев, В. Ю. (2011). Теоретическое обоснование

интенсификации режимов промывки молокопроводов доильных установок. Сб. научн. трудов. Научно-технический прогресс в животноводстве – инновационные технологии и модернизация в отрасли: Т. 21, Ч. 4. М. : ВНИИМЖ. С. 9–14.

86. Харьков, С. В. (1983). Обоснование режима промывки доильной установки унифицированного ряда и разработка технических средств для его реализации : Дис. ... канд. техн. наук. Ростов-на-Дону. 143 с.

87. Остроухов, А. И., Пучин, Е. А. (2012). Современное моющее средство для очистки доильно-молочного оборудования. Вестник ФГОУ ВПО МГАУ. № 5 (56). С. 14–17.

88. Пат. № 94570, Україна С11D 7/00. Кислотний мийно-дезінфікуючий засіб «ТДС» для санітарної обробки доїльного устаткування та молочного інвентарю. Є. М. Кривохижа, Н. Ф. Моткалюк, М. Д. Кухтин, Ю. Б. Перкій, М. М. Карпенко; заявник і патентовласник Тернопільська дослідна станція Інституту ветеринарної медицини НААН. № 201403445; заявл. 04.04.2014; опубл. 25.11.2014, Бюл. № 22.

89. Кривохижа, Є. М., Карпенко, М. М. (2014). Розробка критеріїв оцінки кислотних мийних засобів для санітарної обробки доїльного устаткування. Актуальні проблеми ветеринарної біотехнології та інфекційної патології тварин : матеріали науково-практичної конференції молодих вчених, 26 червня 2014 р. К. : Друк ЦП «КОМПРИНТ». С. 16–17.

90. Скляр, О. І., Скляр, І. О. (2015). Санітарно-гігієнічні показники молока за використання опс як дезінфектанту при переддоїльній санації вимені корів. Науковий вісник ЛНУВМБТ імені С.З. Гжицького. Том 17. № 3 (63). С. 419–423.

91. Засєкін, Д., Пушкова, А., Димко, Р. (2017). Сучасні вимоги до мийно-дезінфікуючих засобів для санітарної обробки доїльного обладнання та молочного інвентаря. Управління якістю в освіті та промисловості: досвід, проблеми та перспективи : тези доповідей III Міжнародної науково-практичної конференції пам'яті професора Петра Столярчука, Львів, 11–12 травня 2017 року. Львів: Видавництво Львівської політехніки. С. 74.

92. Жукорський, О. М., Кривохижа, Є. М. (2016). Оцінювання рівня надходження відпрацьованих розчинів мийно-дезінфікуючих засобів для доїльного устаткування на фермах у довілля. Науково-технічний бюлетень. № 115. С. 75–82.

93. Жукорський, О. М., Кривохижа, Є. М. (2016). Регенерація і повторне використання розчинів лужних мийно-дезінфікуючих засобів для доїльних апаратів на тваринницьких фермах. Екологічна безпека та збалансоване природокористування в агропромисловому виробництві: матеріали Міжнар. наук.-практ. конф., 6-8 липня 2016 р. Київ : ДІА. С. 41–44.

94. Ребиндер, П. А. (1979). Избранные труды. Поверхностные явления в дисперсных системах. Физико-химическая механика. М. : Наука. 381 с.

95. Погорелов, Д. В., Палій, А. П. (2016). Визначення чистоти зовнішньої поверхні доїльного устаткування. Матеріали III Всеукраїнської науково-технічної конференції ННІ технічного сервісу. С. 34.

96. Рекин, А. М. (2001). Повышение санитарно-гигиенических показателей качества получаемого молока путем разработки технологии санитарной обработки доильного оборудования : Дис. ... канд. с.-х. наук. Москва. 161 с.

97. Панин, А. А., Козловцев, А. П., Королев, А. С., Суздальев, С. П. (2011). К вопросу контроля качества промывки внутренних поверхностей молокопроводных систем. Народное хозяйство. № 5. С. 75–78.

98. Карташов, Л. П., Королёв, А. С. (2008). Устройство для контроля чистоты внутренней поверхности молокопровода доильной установки. Материалы XIV Международного симпозиума по машинному доению сельскохозяйственных животных. Углич: Россельхоз академия. С. 158–164.

99. Патент РФ № 2378825 МПК А01J7/02 Устройство для контроля качества промывки молокопроводов доильных установок. Карташов Л.П., Ушаков Ю.А., Королёв А.С.; заявл. 29.01.2008; опубл. 20.01.2010. Бюл. № 2. 2010.

100. А.с. 1748754 СССР, (51) МПК А01J 5/00, Устройство для определения степени загрязненности вакуумпровода доильной установки. С.А. Соловьев, Ю.А. Ушаков, Ю.И. Коровин; заявитель Оренбургский сельскохозяйственный институт (SU). № 4851602/ 15; заявл. 03.05.1990; опубл. 23.07.1992. Бюл. № 27.

101. Авзалова, А. Ф. (2013). Санитарно-бактериологический мониторинг процесса получения молока и оценка его качества: Дис. ... канд. вет. наук. Казань. 156 с.

102. Пушкар, Т. Д. (2014). Поліпшення санітарно-гігієнічних показників при дезінфекції молочно-доїльного обладнання при застосуванні озонових технологій. Аграрний вісник Причорномор'я. Сільськогосподарські науки. Вип. 71(2). С. 49–52.

103. Кухтин, М. Д., Перкій, Ю. Б., Бергілевич, О. М. (2015). Методичні рекомендації: санітарно-гігієнічні вимоги до технології доїння, первинної обробки, зберігання і транспортування молока коров'ячого сирого в молочних кооперативах. 17 с.

104. Кухтин, М. Д., Перкій, Ю. Б., Крушельницька, Н. В. (2013). Формування змішаних біоплівки мікроорганізмами, які виділені з доїльного устаткування та молока сирого. Ветеринарна медицина. Випуск 97. С. 442–443.

105. Кочеткова, Ю. А. (2008). Технологические условия повышения качества молока при санитарной очистке доильно-молочного оборудования : Дис. ... канд. с.-х. наук. Москва. 165 с.

106. Онищенко, В.О., Стороженко, Д.О., Сененко, Н.Б., Бунякіна, Н.В. (2018). Засіб кислотний для миття та дезінфекції доїльних апаратів методом безрозбірної циркуляційної мийки. Вчені записки Таврійського національного університету імені В.І.Вернадського. Серія: Технічні науки. Т. 29 (68), № 1, ч.2. С. 170–175.

107. Пушкар, Т. Д., Антоненко, П. П., Козирь, В.С. (2015). Ефективність озонування технологічного обладнання на підприємствах молочної промисловості. Таврійський науковий вісник. № 91. С. 128–133.

108. Дегтярев, Г. П. (2008). Моюще-дезинфицирующие средства для очистки технологического оборудования. Техника и оборудование для села. № 3. С. 28–30.

109. Кузина, Ж. И., Маневич, Б. В., Косьяненко, Т. В. (2009). Зависимость качества мойки от состава моющей композиции. Молочная промышленность. № 11. С. 40–42.

110. Маневич, Б. В., Косьяненко, Т. В. (2009). О регламентации и применении дезинфекционных средств, в том числе с моющим действием. Молочная промышленность. № 11. С. 6–9.

111. Патент на изобретение № 2472851 РФ. Моющее средство для молочного оборудования (ЩМС-5). Е.А. Пучин, А.И. Остроухов, Г.П. Дегтерев, С.В. Андреев. № 2011126940/04; Заявл. 01.07.2011; опубл. 20.01.2013. Бюл. № 2.

112. Пиварчук, В. А., Щербакова А. Г. (2012). К вопросу о повышении эффективности промывки доильных установок. Вестник Омского государственного аграрного университета. № (5). С.58–61.

113. Панин, А. А. (2011). Контроль качества внутренней поверхности молоко-провода доильной установки. Известия ОГАУ. № 1(29). Оренбург. С. 51–54.

114. Карташов, Л. П., Ушаков, Ю. А., Королёв, А. С. (2009). Экспериментальное исследование процесса промывки внутренней поверхности молокопровода. Известия ОГАУ. № 1 (21). Оренбург. С. 78–80.

115. Кирсанов, В. В., Филонов, Р. Ф., Матвеев, Р. Ф., Филонов, В. Ю. (2012). Энергоэффективная двухконтурная система промывки молокопроводов доильных установок. Вестник ВНИИМЖ. № 2 (6). С. 110–115.

116. Кирсанов, В. В., Матвеев, В. Ю. (2011). Устройство для очистки молокопроводов. Сельский механизатор. № 7 С. 30–33.

117. Пат. 2390122 Российская Федерация, (51) МПК А01J 5/01 А01J 7/00. Стенд для исследования пробкового движения молока в молокопроводе / Л.П. Карташов, Ю.А. Ушаков, А.А. Панин; заявитель и патентообладатель ФГОУ ВПО «Оренбургский государственный аграрный университет» (RU). № 2008146174/12; заявл. 21.11.2008; опубл. 27.05.2010. Бюл. № 15.

118. Королёв, А. С., Карташов, Л. П. (2009). Стенд для исследования процесса промывки внутренней поверхности молокопровода. Сб. докладов международной научно-технической конференции. Выпуск 9. Оренбург: Изд. центр ОГАУ. С. 55–58.

119. Патент РФ № 2390123 МПК А01J7/02 Универсальный стенд для исследования чистоты промывки молочной линии / Карташов Л.П., Ушаков Ю.А., Поздняков В.Д, Королёв А.С; заявл. 21.11.2008; опубл. 27.05.2010. Бюл. № 16. 2010.

120. Лапкин, А. Г. (2015). Обоснование параметров устройства для предоильной очистки сосков вымени коров на автоматических доильных установках : Дис. ... канд. техн. наук. Москва. 170 с.

121. Клименко, Д. Б. (2012). Разработка и обоснование параметров устройства для санитарной обработки вымени коров перед доением на автоматизированной доильной установке: Дис. ... канд. техн. наук. Белгород. 143 с.

122. Панин, А. А. (2012). Совершенствование системы промывки и контроля состояния внутренней поверхности молокопровода доильной установки : Дис. ... канд. техн. наук. Оренбург. 122 с.

123. Карташов, Л. П., Панин, А. А., Королев, А.С. (2010). Исследование пробкового режима в молокопроводе. Техника в сельском хозяйстве. № 2. С. 47–49.

124. Панин, А. А. (2010). Совершенствование системы контроля внутренней поверхности молокопровода доильной установки. Известия ОГАУ. № 2 (26). Оренбург. С. 67–69.

125. Королев, А. С., Панин, А. А. (2009). Определение временных и расходных характеристик процесса промывки молочной линии доильной установки. Известия ОГАУ. № 3 (23). Оренбург. С. 80–82.

126. Королёв, А. С. (2010). Разработка методов и технических средств для оценки качества очистки молочных линий доильных установок : Дис. ... канд. техн. наук. Оренбург. 129 с.

127. Карташов, Л. П., Ушаков, Ю. А., Колпаков, А. В., Королёв А. С. (2008). Математическое моделирование взаимодействия молока с поверхностями деталей доильной установки. Техника в сельском хозяйстве. № 4. С. 10–13.

128. Машошин, В. Л. (2000). Исследование и разработка технологического процесса очистки сосковой резины доильных аппаратов : Дис. ... канд. техн. наук. Москва. 178 с.

129. Ушаков, Ю. А. (2011). Инженерные методы обеспечения качества молока: Дис. ... д-ра техн. наук. Оренбург. 376 с.

130. Карташов, Л. П., Ушаков, Ю. А., Колпаков, А. В. (2010). Методики определения коэффициентов модели вычислительного эксперимента с целью получения оптимальной формы рабочего колеса молочного насоса. Известия ОГАУ, № 1 (25). С. 76–79. ISSN 2073-0853.

131. Ушаков, Ю. А. (2011). Критерии формирования поверхностей взаимодействующих с молоком и моющим раствором. Естественные и технические науки. М.: Спутник. № 4. С. 528–531. ISSN 1684-2626.

132. Ушаков, Ю. А. (2011). Численное моделирование гидродинамического потока в молокопроводе доильной установки. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. № 5 (24). С. 61–64. ISSN 2072-9081.

133. Остроухов, А. И. (2013). Повышение эффективности очистки доильно-молочного оборудования щелочными моющими растворами в воде различной жесткости : Дис. ... канд. техн. наук. Москва. 133 с.

134. Остроухов, А. И., Дегтерев, Г. Л. (2010). Машинно-технологическое обеспечение производства качественного и безопасного сырого молока. Сборник трудов ГНУ ВНИИМЖ. Т. 21 (часть 2). Подольск : ГНУ ВНИИМЖ Россельхозакадемии. С. 75–84.

135. Остроухов, А. И. (2010). Технологическое обеспечение производства качественного и безопасного сырого молока. Сборник научных трудов молодых ученых, магистрантов и студентов. Вып. 1. М. : ФГОУ ВПО МГАУ им. В.П. Горячкина. С. 179–184.

136. Матвеев, В. Ю. (2011). Повышение эффективности промывки доильных установок на основе пневмомеханического интенсификатора с активными рабочими органами : Дис. ... канд. техн. наук. Москва. 141 с.

137. Матвеев, В. Ю., Кирсанов, В. В. (2011). Энергоэффективная система промывки молокопроводов доильных установок. Техника и оборудование для села. № 6. С. 20–21.

138. А.с. 1695856 СССР, (51) МПК А01J 5/00, А01J 7/00. Стенд для исследования элементов вакуумной системы [Текст]. Л. П. Карташов, И. А. Бунин, Ю. А. Ушаков; заявитель Оренбургский сельскохозяйственный институт (SU). № 4794818/ 15; заявл, 20.11.1989; опубл. 07.12.1991, Бюл. № 45.

139. Пат. 2390122 Российская Федерация, (51) МПК А01J 5/01 А01J 7/00. Стенд для исследования пробкового движения молока в молокопроводе. Карташов Л. П., Ушаков Ю. А., Панин А. А.; заявитель и патентообладатель ФГОУ ВПО «Оренбургский государственный аграрный университет» (RU). № 2008146174/12; заявл. 21.11.2008; опубл. 27.05.2010. Бюл. № 15.

140. Mustaghfirin, M. A., Miyara, A., Aziz, A., Sugino, F. (2012), Uniformity of Twophase Flow Distribution in Curved Round Distributor, Proc. International

Conf. on Fluid Dynamics and Thermodynamics Technologies (FDTT 2012) 33, p. 76-81.

141. Paulo A.B. de Sampaio, Jose´ L.H. Faccini, Jian Su. (2008). Modelling of stratified gas–liquid two-phase flow in horizontal circular pipes. P.A.B. de Sampaio et al. / *International Journal of Heat and Mass Transfer* 51. P. 2752–2761.

142. Okoye Obuora A. (2016). Evaluation Of Two Phase Flow Characteristics In A Pipeline: Homogenous Model Approach. *International Journal of Scientific & Technology Research*, Issue 7. P. 319–326.

143. Hernández-Pérez, V., Azzopardi, B. J. (2006), Effect of inclination on gasliquid flows. 10th Int. Conf. "Multiphase Flow in Industrial Plant, Tropea, Italy.

144. Nerea Herreras Omagogeascoa, Jon Izarra Labeaga. (2013). Two-Phase pipeflow simulations with OpenFoam: Master's Thesis. Norwegian University of Science and Technology, Department of Energy and Process Engineering,. 125 p.

145. Boran Zhang, Wuyi Wan, Mengshan Shi. (2018). Experimental and Numerical Simulation of Water Hammer in Gravitational Pipe Flow with Continuous Air Entrainment. *Water*, 10, 928. DOI:10.3390/w10070928

146. Coronado-Hernandez, O.E., Fuertes-Miquel, V.S., Besharat, M., Ramos, H.M. (2017). Experimental and Numerical Analysis of aWater Emptying Pipeline Using Different Air Valves. *Water*, 9, 98. DOI: <http://dx.doi.org/10.3390/w9020098>

147. Wan,W., Li, F. (2016). Sensitivity Analysis of Operational Time Differences for a Pump-Valve System on aWater Hammer Response. *J. Press. Vess. Technol*, 138, 011303. DOI: <http://dx.doi.org/10.1115/1.4031202>

148. Travas, V., Basara, S. (2015). AmixedMOC/FDMnumerical formulation for hydraulic transients. *Tehn. Vjesn.-Techn. Gazette*, 22, 1141–1147

149. Evangelista, S., Leopardi, A., Pignatelli, R., de Marinis, G. (2015). Hydraulic Transients in Viscoelastic Branched Pipelines. *J. Hydraul. Eng*, 141, 04015016. DOI: [http://dx.doi.org/10.1061/\(ASCE\)HY.1943-7900.0001030](http://dx.doi.org/10.1061/(ASCE)HY.1943-7900.0001030)

150. Guo, L.L., Geng, J., Shi, S., Du, G.S. (2014). Study of the Phenomenon of Water Hammer Based on Sliding Mesh Method. In Development of Industrial Manufacturing; Choi, S.B., Hamid, F.S., Han, L., Eds.; Scientific.net: Zurich, Switzerland. Volume 525, p. 236–239

151. Chen N.H. (1979). An Explicit Equation for Friction factor in Pipe. Ind. Eng. Chem. Fundam. Vol.18, No. 3. P. 296–297.

152. James P. Brill, H. Dale Beggs. (1991). Two phase flow in pipes. 6th edition. 640 p.

153. Hwang, Y.H. (2018). Development of a particle method of characteristics (PMOC) for one-dimensional shock waves. Shock Waves, 28, 379–399. DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s00193-017-0720-1>

154. Zhou, L., Wang, H., Liu, D.Y., Ma, J.J., Wang, P., Xia, L. (2017). A second-order Finite Volume Method for pipe flow with water column separation. J. Hydrol.-Environ. Res. 2017, 17, 47–55. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jher.2016.11.004>

155. Himr, D. (2012). Numerical simulation of water hammer in low pressurized pipe: comparison of SimHydraulics and Lax-Wendroff method with experiment. In Proceedings of the EPJ Web of Conferences, Hradec Králové, Czech Republic, 20–23 November 2012; Dancova, P., Novonty, P., Eds.; Technical University of Liberec: Liberec, Czech Republic, 2012.

156. Kamil Urbanowicz (2017). Modern modeling of water hammer. Polish maritime research. 3 (95). vol. 24. pp. 68-77. DOI: 10.1515/pomr-2017-0091

157. Бабин, І. А. (2019). Аналіз сучасних автоматичних способів промивання доїльних установок. Всеукраїнський науково – технічний журнал «Техніка, енергетика, транспорт АПК». Вінниця. 3 (106). С. 13–17.

158. Зимон, А. Д. (1977) Адгезия пленок и покрытий. Монография. М. : Химия. 352 с.

159. Зимон, А. Д. (1974) Адгезия жидкости и смачивание. Монография. М. : Химия. 416 с.
160. Зимон, А. Д. (1967) Адгезия пыли и порошков. Монография. М. : Химия. 372 с.
161. Tsuyoshi Hattori, Seiichi Koshizuka (2019). Numerical simulation of droplet behavior on an inclined plate using the Moving Particle Semi-implicit method. Mechanical Engineering Journal. Bulletin of the JSME. Vol. 6. No. 5. P. 1–16. DOI: 10.1299/mej.19-00204
162. Hattori, T., Hiai, D., Akaike, S., Koshizuka, S. (2016). Improvement of wetting calculation model on polygon wall in the MPS method. Transactions of the JSME (in Japanese). Vol. 82. No. 835. DOI:10.1299/transjsme.15-00602.
163. Пальтиель, Л. Р., Зенин, Г. С., Волынец, Н. Ф. (2004). Физическая химия: поверхностные явления и дисперсные системы. СЗТУ. 69 с.
164. Hattori, T., Sakai, M., Akaike, S., Koshizuka, S. (2018). Numerical simulation of droplet sliding on an inclined surface using moving particle semi-implicit method. Computational Particle Mechanics. Vol. 5. Issue. 4. pp.477–491.
165. Annapragada, S. R., Murthy, J. Y., Garimella, S V. (2012). Droplet Retention on an Incline. CTRC Research Publications. 160 p. <http://dx.doi.org/doi:10.1016/j.ijheatmasstransfer.2011.09.057>.
166. Matsunaga, T., Shibata, K., Koshizuka, S. (2018). Boundary integral based polygon wall representation in the MPS method. Transactions of the JSME (in Japanese). Vol. 84. No. 864. DOI:10.1299/transjsme.18-00197.
167. Yuhashi, N., Matsuda, I., Koshizuka, S. (2016). Calculation and validation of stirring resistance in cam-shaft rotation using the moving particle semi-implicit method. Journal of Fluid Science and Technology. Vol. 11. No. 3. DOI:10.1299/jfst.2016jfst0018.
168. Zhang, T. G., Koshizuka, S., Shibata, K., Murotani, K., Ishii, E. (2015).

Improved wall weight function with polygon boundary in moving particle semi-implicit method. Transactions of the Japan Society for Computational Engineering and Science. DOI:10.11421/jsces.2015.20150012.

169. Hassan Abdulmouti (2014). Bubbly Two-Phase Flow: Part I- Characteristics, Structures, Behaviors and Flow Patterns. American Journal of Fluid Dynamics, 4(4): 194-240. DOI: 10.5923/j.ajfd.20140404.03

170. Abdulkadir, M., Hernandez-Perez, V., Lo, S., Lowndes, I. S. and Azzopardi, B. J. (2013). Comparison of Experimental and Computational Fluid Dynamics (CFD) Studies of Slug Flow in a Vertical 90o Bend. Journal of Computational Multiphase Flows. Volume 5. Number 4. DOI: <https://doi.org/10.1260/1757-482X.5.4.265>

171. Paulo J. Waltrich, Richard Hughes, Mayank Tyagi, Seung Kam, Wesley Williams, Pedro Cavalcanti de Sousa, Muhammad Zulqarnain, Woochan Lee, Matheus Sigaki Capovilla. (2016). Experimental Investigation of Two-Phase Flows in Large-Diameter Pipes and Evaluation of Flow Models Applied to Worst-Case-Discharge Calculations. Report Prepared under Contract Award: M15PC00007 By: Craft & Hawkins Department of Petroleum Engineering Louisiana State University, Baton Rouge. 140 p.

172. Hussain H. Al-Kayiem, Tang M. Huong and Javed A. Khan. (2016). Evaluation of pressure losses due to solids-in-liquid pipe flow by cfd simulation. ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences. Vol. 11, No. 16. P. 9908-9916.

173. Kim, S.M. and Mudawar, I., (2012), Universal approach to predicting two-phase frictional pressure drop for adiabatic and condensing mini/micro-channel flows, Int. J. Heat and Mass Transfer 55, p. 3246–3261.

174. FLUENT 6.3 Documentation, (2006), Choosing a General Multiphase Model, <http://aerojet.engr.ucdavis.edu/fluenthelp/html/ug/node875.htm>, © Fluent Inc. 2006-09-20.

175. Ishi, M. and Hibiki, T., (2011), Thermo-Fluid Dynamics of Two-Phase Flow, Second Edition, Springer New York Dordrecht Heidelberg London, ISBN 978-1-4419-7984-1.

176. Шумакова Н. К. (2000). Молочная продуктивность, состав и свойства молока коров черно-пестрой породы при различных технологиях доения в зависимости от сезона года: автореф. дис. к. с.-г. наук: 06.02.04/ Шумакова Нина Корнеевна; Уральская государственная академия ветеринарной медицины. Троицк. 135 с.

177. Калицун, В. И., Дроздов, Е. В., Комаров, А. С., Чижик, К. И. (2002). Основы гидравлики и аэродинамики. Москва. Стройиздат. 296 с.

178. Sabin Cristian Ceuca, Rafael Macián-Juan (2014). Validation of a Hybrid Surface Renewal Theory Based HTC Model for the Simulation of Condensation Induced Water Hammer. International Conference on Nuclear Engineering. DOI: 10.1115/ICONE21-15987

179. Charles Demay. (2017). Modelling and simulation of transient air-water two-phase flows in hydraulic pipes. Thèse pour obtenir le grade de. Docteur de L'université Grenoble Alpes. 171 p.

180. Ali Ersin, Zafer Bozkus. (2016). Investigation of Waterhammer Problems in Wind-Hydro Hybrid Power Plants. Arabian Journal for Science and Engineering. 41, p. 4787–4798.

181. Jensen, Rune Kjerrumgaard, Larsen, Jesper, Lassen, Kasper Lindgren. (2018). Modelling of a Two Phase Water Hammer. Master's Thesis. Aalborg University Esbjerg. 149 p.

182. Розробити систему багатокритеріального виробничого контролю техніко-технологічних параметрів доїльного обладнання та засобів для його технічного обслуговування: звіт про НДР (заключи, в 3 томах): 33.02.27.13; № ДР 0111U004420. Національний науковий центр «Інститут механізації та електрифікації сільського господарства» НААН; кер. І.А. Шевченко; вик.: Е.Б. Алієв, О.С. Тісліченко та ін. Запоріжжя, 2013. 475 с. Інв. № 0214U000402.

183. Алієв, Е. Б. (2012). Підвищення ефективності експлуатації вакуумної системи молочно-доїльного обладнання: дис. ... канд. техн. наук: 05.05.11. Запоріжжя. 177 с.

184. Алієв, Е. Б. (2012). Оцінка фактичного рівня безвідмовності вузлів вакуумної системи молочно-доїльного обладнання. Сучасні проблеми вдосконалення технічних систем і технологій у тваринництві: Вісник харківського Національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. Харків. Вип. 120. С. 326–330.

185. Шевченко, І. А., Алієв, Е. Б., Дриго, В. О., Потеруха, Б. Т. (2012). Підвищення якості технічного обслуговування молочно-доїльного обладнання. Техніка і технології АПК. УкрНДІПВТ ім. Л. Погорілого. № 12 (39). С. 37–40.

186. Абрамович, Г. Н. (2011). Теория турбулентных струй. Репринтное воспроизведение издания 1960 г. М. : ЭКОЛИТ. 720 с.

187. Бабин, І. А. (2019). Фізико-математичний апарат руху двофазного мийного розчину по молокопровідній лінії. Всеукраїнський науково-технічний журнал «Техніка, енергетика, транспорт АПК». Вінниця. 1 (104). С. 5–12.

188. Бабин, Ігор (2019). Методика моделювання процесу переміщення двофазного мийного розчину по молокопровідній лінії. Інноваційні технології та інтенсифікація розвитку національного виробництва: матеріали V міжнар. наук.-практ. конф. 30 травн. 2019 р. Тернопіль: Крок. С. 90–91.

189. Бабин, І. (2019). Теоретичні дослідження процесу промивання молокопровідної лінії доїльної установки. Тези наукових доповідей XIX Міжнародної наукової конференції «Науково-технічні засади розробки, випробування та прогнозування сільськогосподарської техніки і технологій», присвяченої 85-річчю від дня народження академіка Л. В. Погорілого та 150-річчю від дня народження професора К. Г. Шиндлера, 13 вересня 2019 року, УкрНДІПВТ ім. Л. Погорілого; Дослідницьке. С. 13–14.

190. Бабин, І. А. (2019). Моделювання режимів роботи системи промивання молокопроводів молочно-доїльного обладнання із повітряним інжектором. Сучасні проблеми землеробської механіки: матеріали XX Міжнародної наукової конференції, присвяченої 119-й річниці з дня

народження академіка Петра Мефодійовича Василенка, 17-19 жовтня, 2019 р. Миколаїв: МНАУ. С. 87–89.

191. Бабин, І. А. (2019). Дослідження явища адгезії між відкладеннями і поверхнею молокопровідної лінії. VIII Всеукраїнська науково-технічна конференція «Технічний прогрес у тваринництві та кормовиробництві». смт. Глеваха: ННЦ «ІМЕСГ». 2-27 грудня 2019 р. Глеваха-Київ. С. 7–9.

192. ISO 3918. Milking machine installations – Vocabulary. – Geneva, Switzerland: The International for Standardization Organization, 2007. 42 p.

193. ISO 5707. Milking machine installations – Construction and performance. Geneva, Switzerland: The International for Standardization Organization, 2007. 52 p.

194. ISO 6690. Milking machine installations – Mechanical tests. Geneva, Switzerland: The International for Standardization Organization, 2007. 46 p.

195. Корн, Г., Корн, Т. (1970). Справочник по математике для научных работников и инженеров. М. : Наука. 720 с.

196. Гагарин, А. П. (1988). Бугера-Ламберта-Бера закон. Физическая энциклопедия: [в 5 т.]. Советская энциклопедия. Т. 1: Ааронова – Бома эффект Длинные линии. С. 232–233. 707 с.

197. Сивухин, Д. В. (2005). § 89. Поглощение света и уширение спектральных линий. Общий курс физики. М., 2005. Т. IV. Оптика. С. 582–583.

198. Алієв, Е. Б. (2012). Дослідження метрологічних характеристик комплексу устаткування контролю вакуумметричних параметрів молочно-доїльного обладнання. Аграрна наука та практика на сучасному етапі розвитку: досвід, проблеми та шляхи їх вирішення. Міжнародна науково-практична конференція. Львів : «Львівська аграрна фундація». С. 13–15.

199. Бабин І. А. (2018). Дослідження метрологічних характеристик пристрою для вимірювання вакуумметричних параметрів лінії промивки доїльної установки. Техніка, енергетика, транспорт АПК. № 3 (102). ВНАУ. С. 5–10.

200. Кисельов, О. В., Комарова, І. Б., Мілька, Д. О., Бакарджиєв, Р. О. (2017). Статистична обробка і оформлення результатів експериментальних досліджень (із досвіду написання дисертаційних робіт) : Навчальний посібник. За заг. ред. Д. О. Мілька. Інститут механізації тваринництва НААН. Електронний аналог друкованого видання (електронна книга). Запоріжжя: СТАТУС, 2017. 1181 с.

201. Пустыльник, Е. И. (1968) Статистические методы анализа и обработки наблюдений. М. : Наука. 288 с.

202. Основы планирования эксперимента в сельскохозяйственных машинах. (1974). РТМ 23.2.36-73. М.: ВИСХОМ. 116 с.

203. ГОСТ 24026 (1980). Исследовательские испытания. Планирование эксперимента. Термины и определения: Введ. 01.01.81. М. : Изд-во стандартов. 18 с.

204. Pabis, S. (1985) Metodologia i metody nauk empirycznych. Warszawa: PWN, 220 s.

205. Дьяконов, В. П. (2008). Mathematica 5.1/5.2/6. Программирование и математические вычисления. М. : ДМК-Пресс. 576 с.

206. Половко, А. М. (2007). Mathematica для студента. СПб. : БХВ-Петербург. 368 с.

207. Гусев, В. Г.(2007). Теория планирования многофакторных экспериментов: Метод. Указания к лаб. работам. Владим. Гос. ун–т. Владимир. С. 39.

208. Аністратенко, В. О., Федоров В. Г. (1993). Математичне планування експериментів в АПК: Навчальний посібник. Київ : Вища школа. 375 с.

209. Усков, В. И. (2011). Обработка результатов измерений. М.: МГУПБ, ООО “Франтера”. 34 с.

210. Новицкий, П. В., Зограф, И. А. (1991). Оценка погрешностей результатов измерений. Л.: Энергоатомиздат, 1991. 303 с.

211 ДСТУ 4397:2005 Методики економічного оцінювання техніки на етапі випробування К. : Держспоживстандарт України, 2005. 16 с.

212 Методика комплексної оцінки техніки і технологій для тваринництва. КНД У 46.16.19–95. Введена вперше. Дата введення 01 жовтня 2003 р. Мінагрополітики України, 2003. 22 с.

213 Сичкарь, В. Ф., Кушнарєв, А. С., Коротченко, Т. Н., Олейник Л. М. (1997). Информационные материалы у комплексной оценки техники и технологий для животноводства, птицеводства и кормообеспечения: Справочник. Запорожье, ИМЖ. 396 с.

214 Боровиков, В. (2003). STATISTICA. Искусство анализа данных на компьютере: Для профессионалов. [2-е изд.]. (+CD). СПб. : Питер. 688 с.

215 Кисельов, О. В., Антонов, Е. Е., Бакарджиев, Р. О. (2011). Використання пакету програм Statist для аналізу результатів багатofакторного активного експерименту. Механізація, екологізація та конвертація біосировини у тваринництві: Зб. наук. праць. Запоріжжя: ІМТ НААН. Вип. 1(7). С. 243–253.

216. ГОСТ 8.207-76. (2006). Прямые измерения с многократными наблюдениями. Методы обработки результатов наблюдений. Основные положения. М.: Стандартиформ. 8 с.

217. Алексеев, Е. Р., Чеснокова, О. В. (2005). Matcad 12. М.: НТ Пресс., 347 с.

218. Бабин, І. А. (2019). Обґрунтування режимів роботи системи промивання молокопроводів доїльної установки. Всеукраїнський науково – технічний журнал «Техніка, енергетика, транспорт АПК». 4 (107). С. 89–99.

219. Пришляк, В. М., Бабин, І. А. (2019). Результати досліджень фотодатчика визначення забрудненості молокопровідної лінії. Загальнодержавний міжвідомчий науково-технічний збірник. Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин. Вип. 49. Кропивницький : ЦНТУ. С. 206–212.

220. Pryshliak Viktor, Babyn Igor (2019). Justification of the modes of the milk washing system of the milking installation. ТЕКА. Quarterly journal of agri-food industry. Vol. 19. No. 4. P. 5–12.

221. Гунько І. В., Бабин І. А., Пришляк В. М. (2020). Експериментальні дослідження режимів роботи повітряного інжектора системи промивання молокопроводів доїльної установки. Наукові горизонти. № 03 (88). С. 44-53.

222. ДСТУ 4397. (2005). Сільськогосподарська техніка. Методи економічного оцінювання техніки на етапі випробування. К.: Держспоживстандарт України. 15 с.

223. Косачев, Г. Г. (1978). Экономическое оценка сельскохозяйственной техники. Колос,. 240 с.

224. Бабин, І. А., Яропуд В. М., Грицун А. В., Пришляк, В. М. (2020). Патент України на корисну модель 140923, МПК А01J 7/02 (2006.01). Автоматична система промивання молокопровідної лінії доїльних установок. Заявник: Вінницький національний аграрний університет, № u201909823. Заявл. 16.09.2019. Опубл. 10.03.2020, бюл. № 5.

ДОДАТКИ

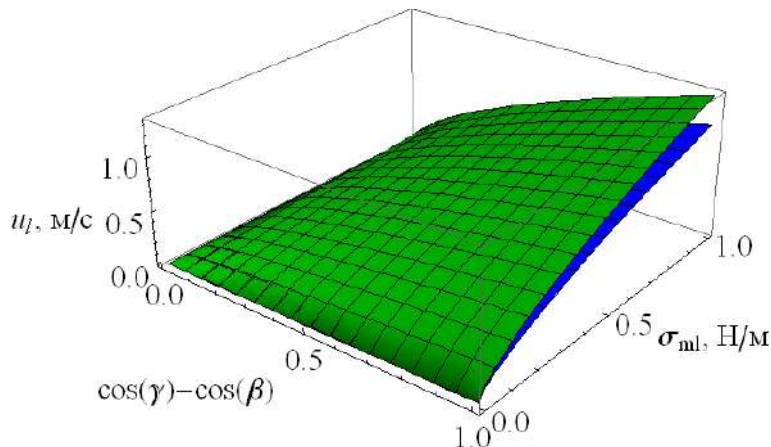
Додаток А

Розрахунок найменшої допустимої швидкості руху мийного розчину залежно від фізико-механічних властивостей молочних відкладень

```

In[1]:= c1=1.5;
        c2=1.8;
        α=10 Pi/180;
        β=90Pi/180;
        ρ=1000;
        μ=8.9 10-4;
        u[dcos_,σ_,Dm_]:=(((Pi-c1)σ dcos)/(c2 Pi  $\sqrt{Dm \cdot \sigma}$ ))2/3
        Plot3D[{u[dcos,σ,40/1000],u[dcos,σ,80/1000]},{dcos,0.001,1},{σ,0.001,1}
        ,PlotStyle→{Green,Blue},AxesLabel→{"cos(γ)-cos(β)","σml, H/M<","ul,
        m/c"}, LabelStyle→(FontSize→14)]

```



Out[1]:=

```

In[1]:= γ=10 Pi/180;
        β=90Pi/180;
        σ=0.08;
        ρm=1000;
        g=9.8;
        θ=10 Pi/180;

```

$$r = \sqrt{\frac{24 \sin^3 \beta \cos \beta}{m g (1 - \cos^2 \beta)^2 + 2 \cos \beta \sin^3 \beta}};$$

$$1000 r$$

$$V = \frac{\pi (1 - \cos[\beta])^2 (2 + \cos[\beta]) r^3}{24 (\sin[\beta])^3};$$

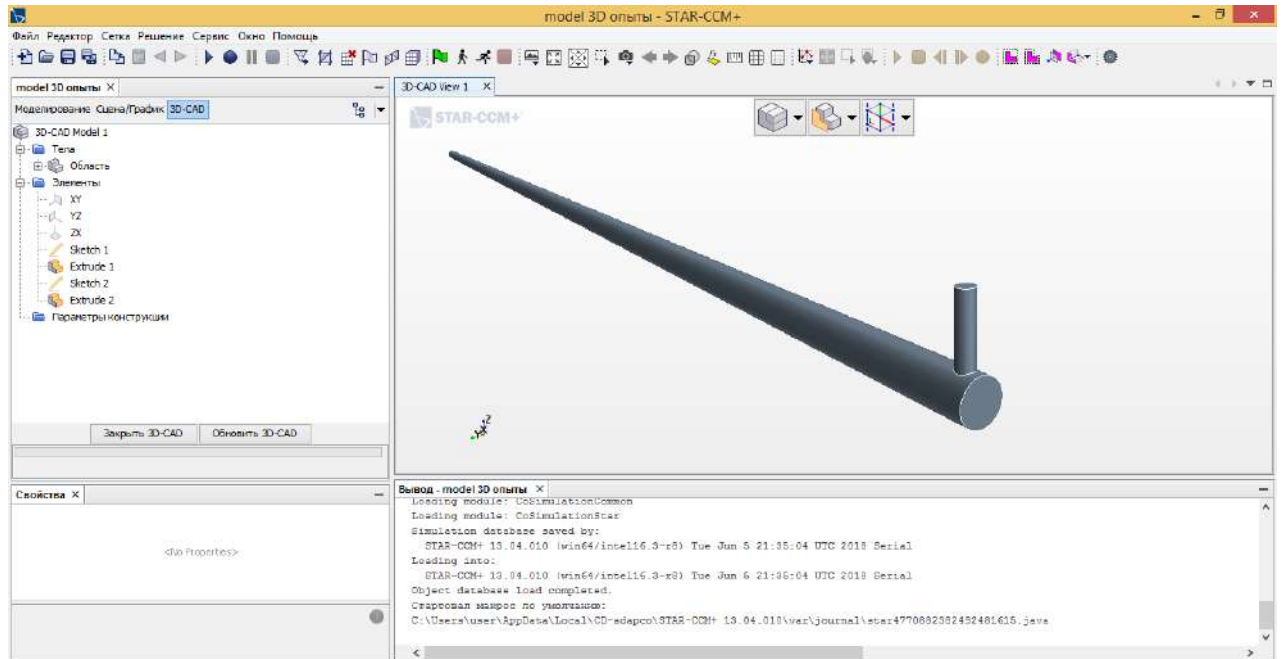
$$1000 V / (\pi r^2)$$

Out[1]:= 23.57021.96418

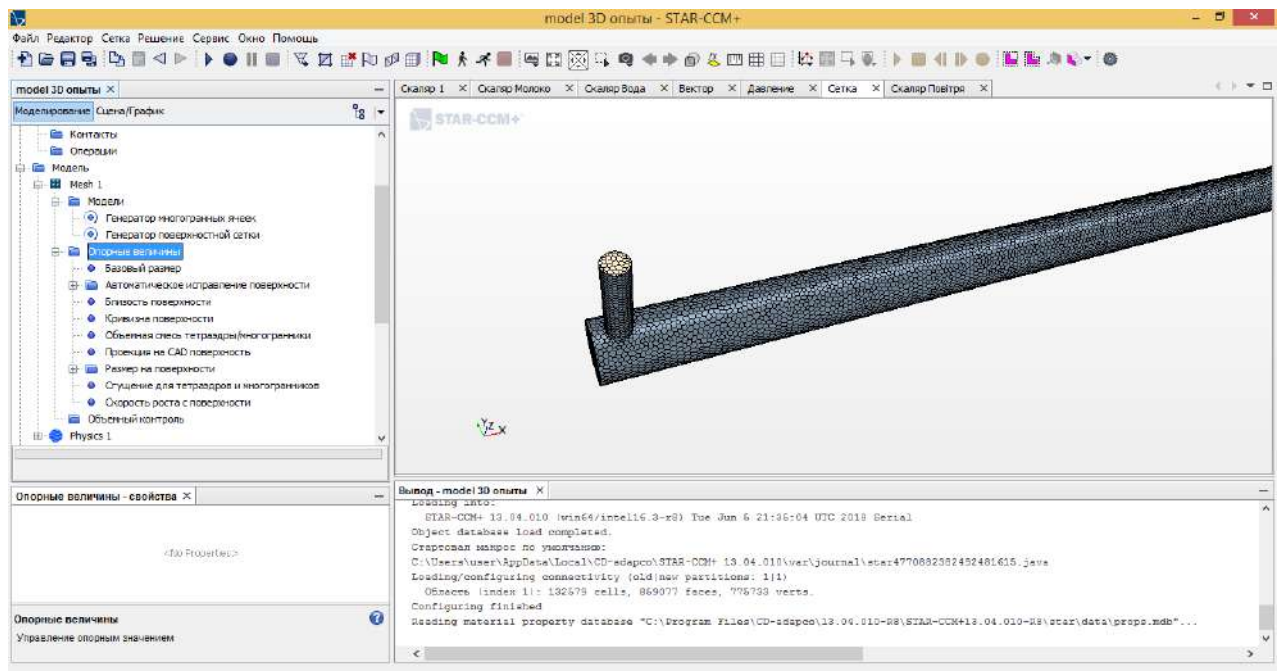
Додаток Б

Методика чисельного моделювання руху двофазного мийного розчину горизонтальною молокопровідною лінією

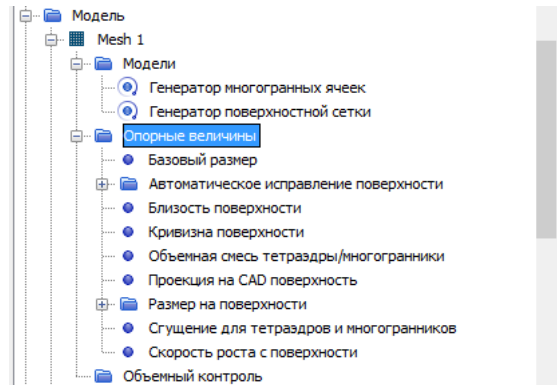
1. Створення 3D-Cad моделі в програмному пакеті Star CCM+.



2. Вибір моделей побудови сітки в програмному пакеті Star CCM+: генератор поверхневої сітки і генератор багатограничних комірок.



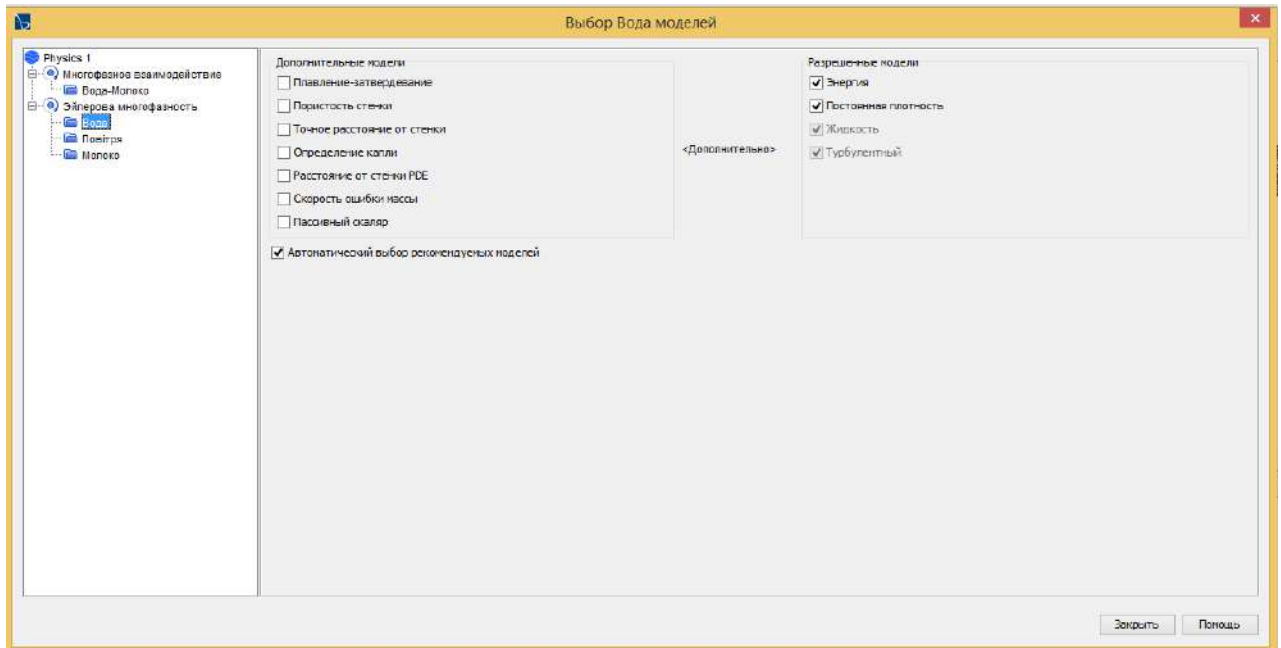
3. Визначення опорних величин сітки в програмному пакеті Star CCM+.



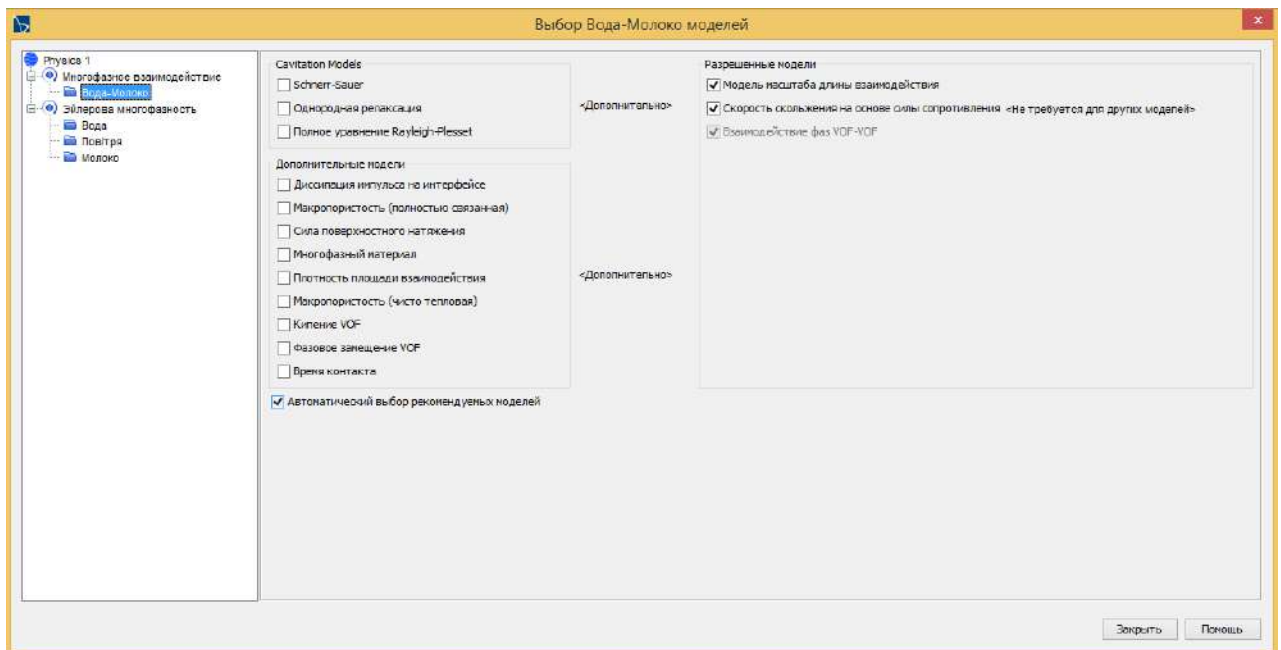
4. Вибір фізичних моделей в програмному пакеті Star CCM+: багатозафазна взаємодія, ізотермічне рівняння енергії рідини, поле сили тяжіння, к-ε модель турбулентності, усереднене по Рейнольдсу рівняння Нав'є-Стокса, роздільна течія, багатозафазне рівняння стану, об'єм рідини (VOF), Ейлерова багатозафазність.



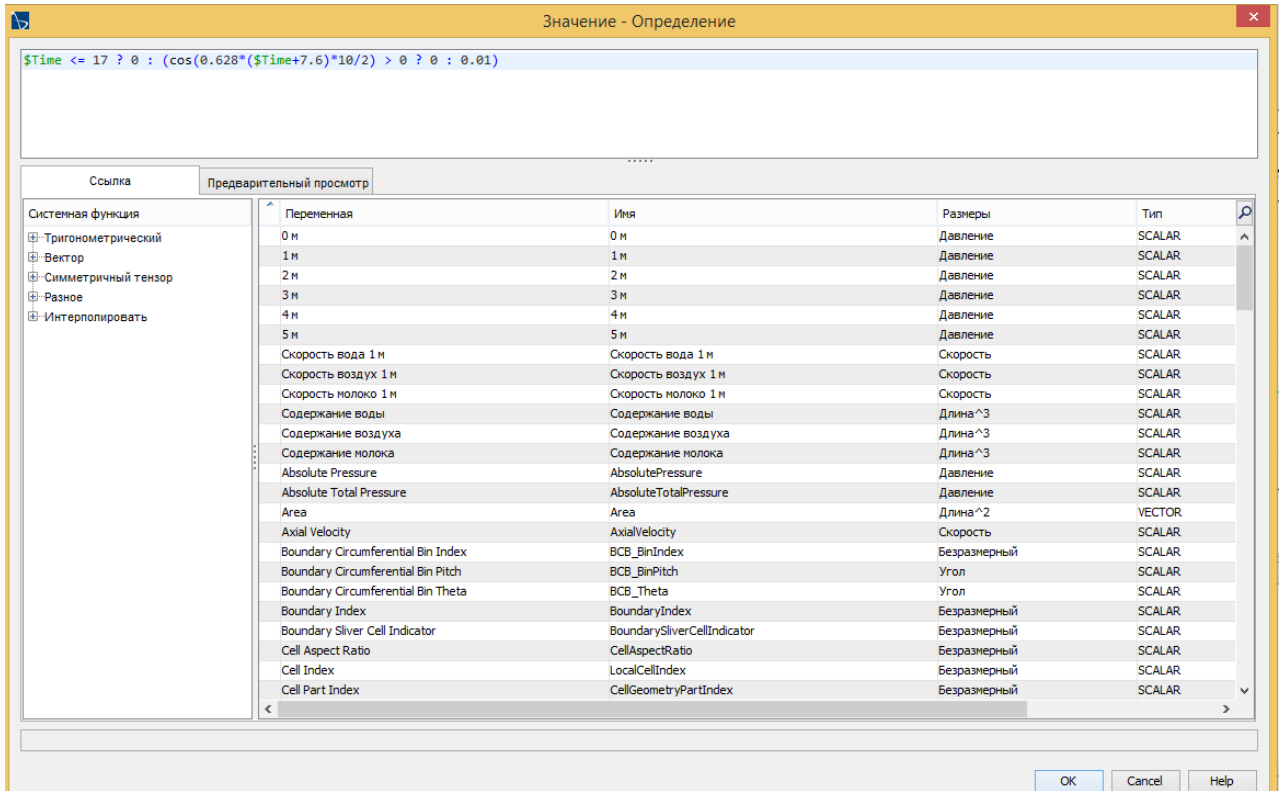
5. Вибір фізичних моделей Ейлерової багатозафазності в програмному пакеті Star CCM+.



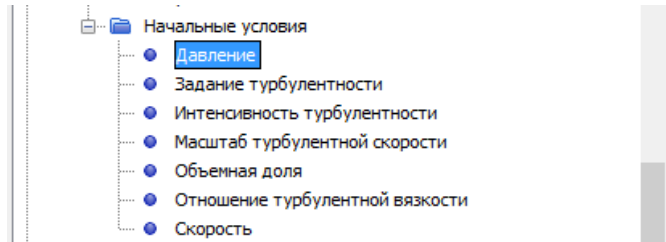
6. Вибір моделей багатофазної взаємодії в програмному пакеті Star CCM+.



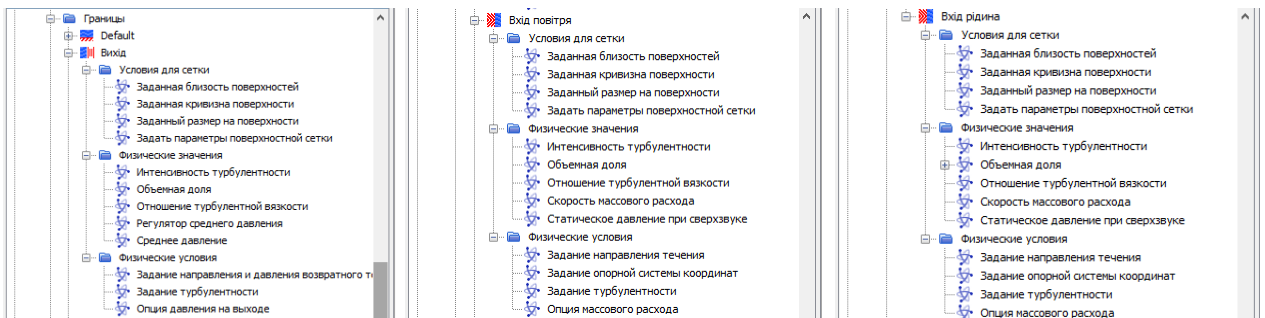
7. Доповнення математичного апарату програмного пакету Star CCM+ визначеними формулами і залежностями.



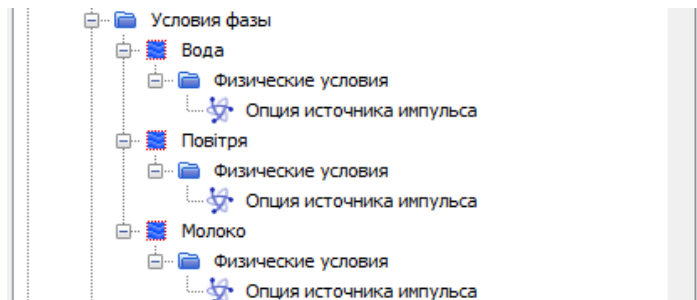
8. Визначення початкових умов в програмному пакеті Star CCM+.



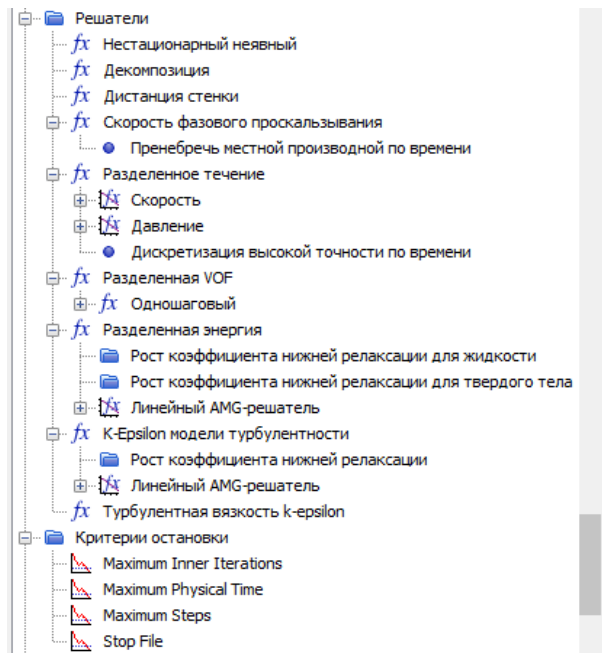
9. Визначення граничних умов в програмному пакеті Star CCM+.



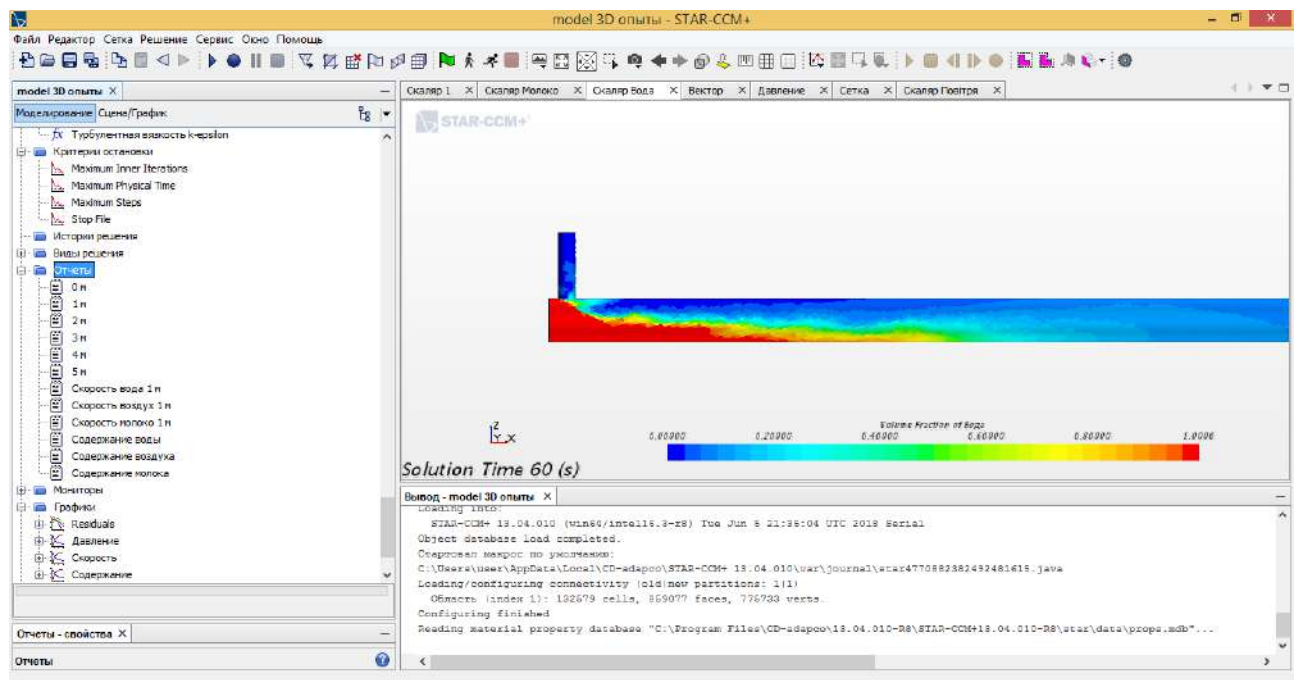
10. Визначення умов для кожної фази в програмному пакеті Star CCM+.

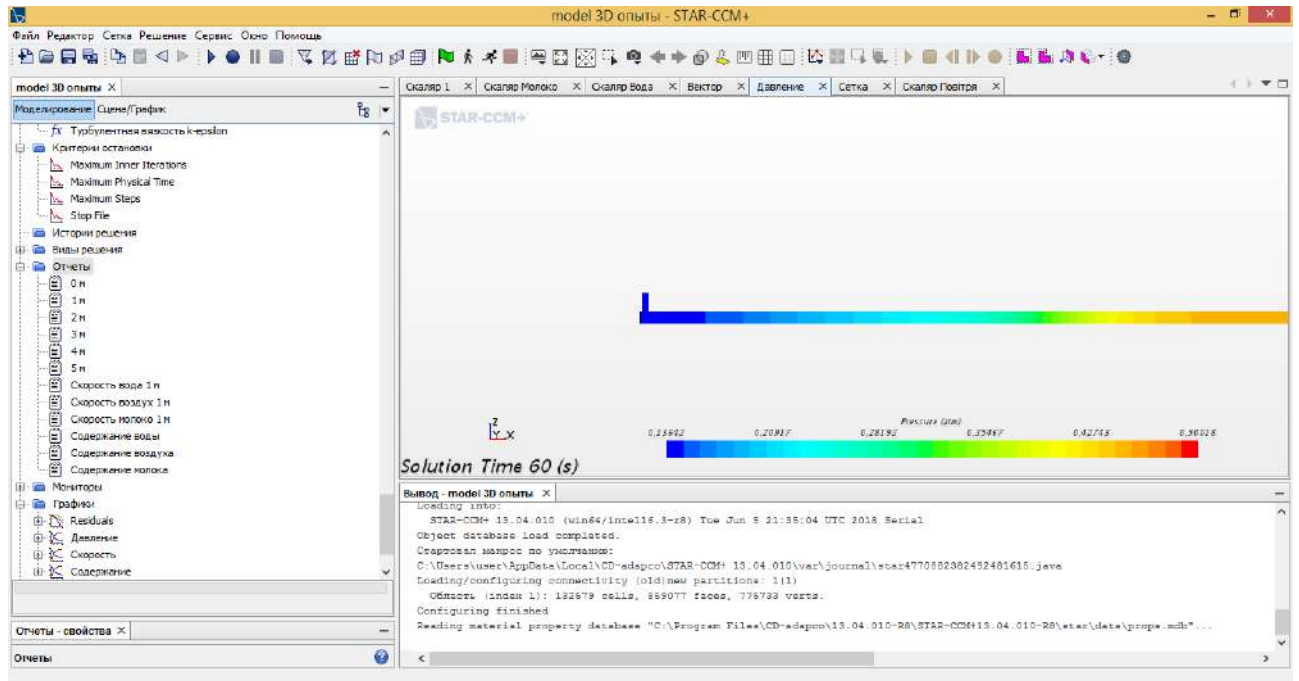


11. Визначення параметрів чисельного моделювання і зупинки процесу в програмному пакеті Star CCM+.

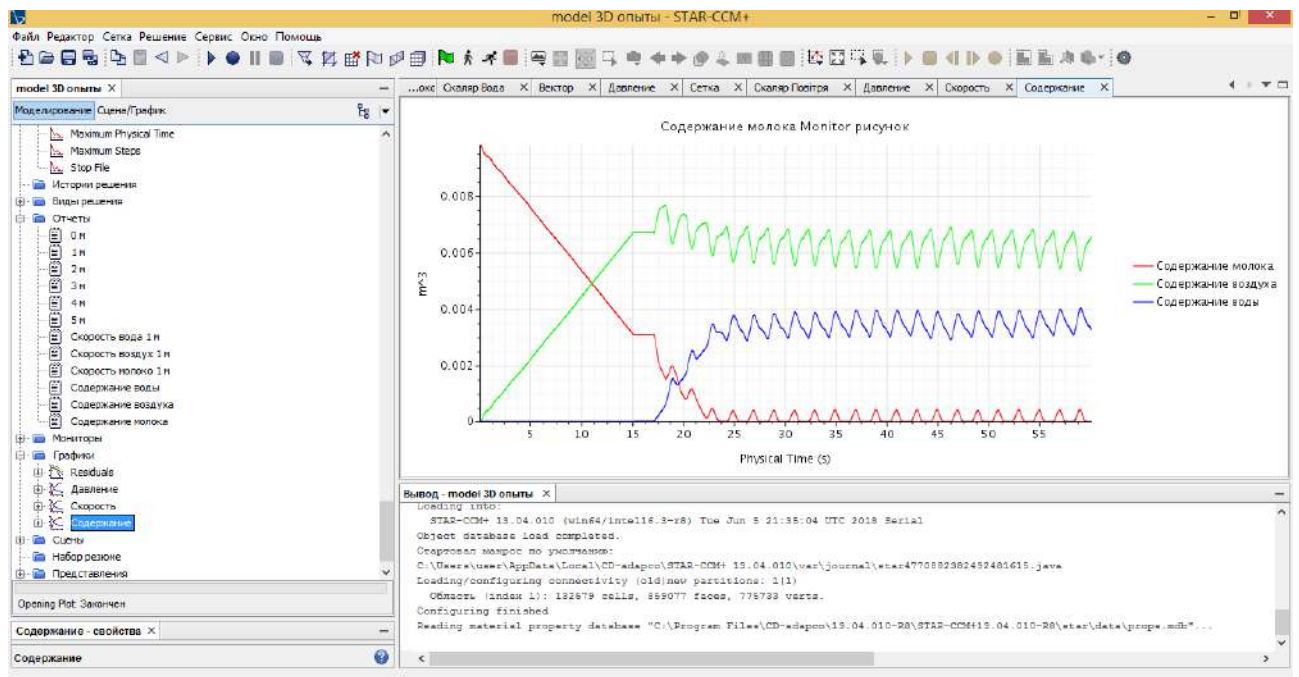


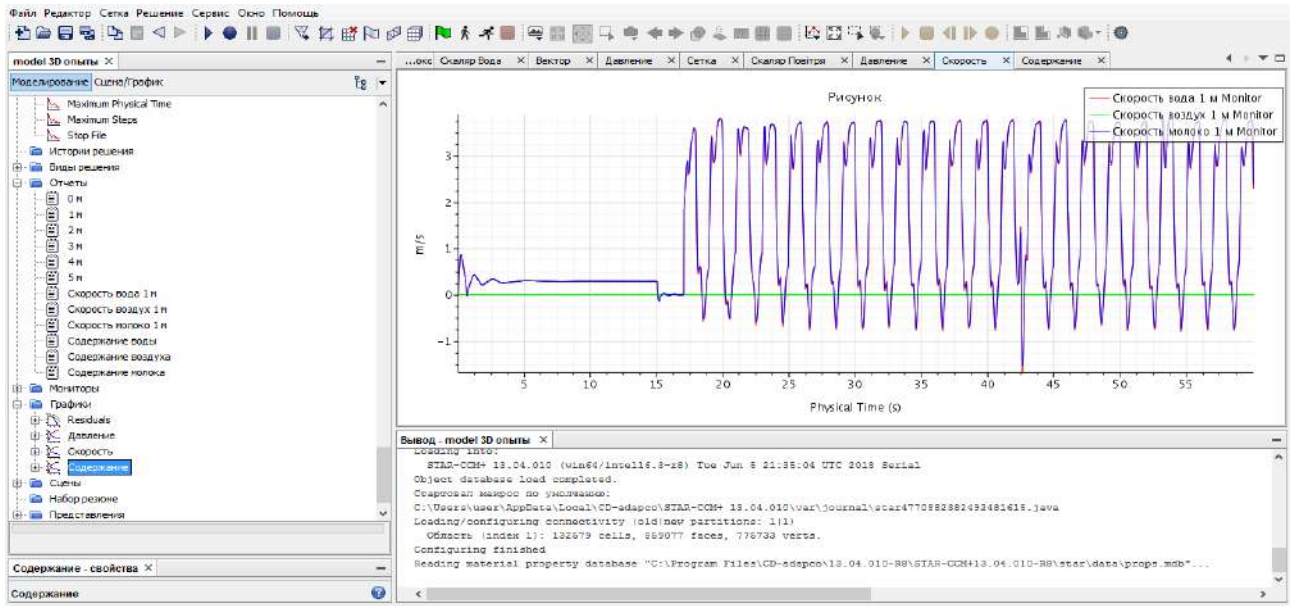
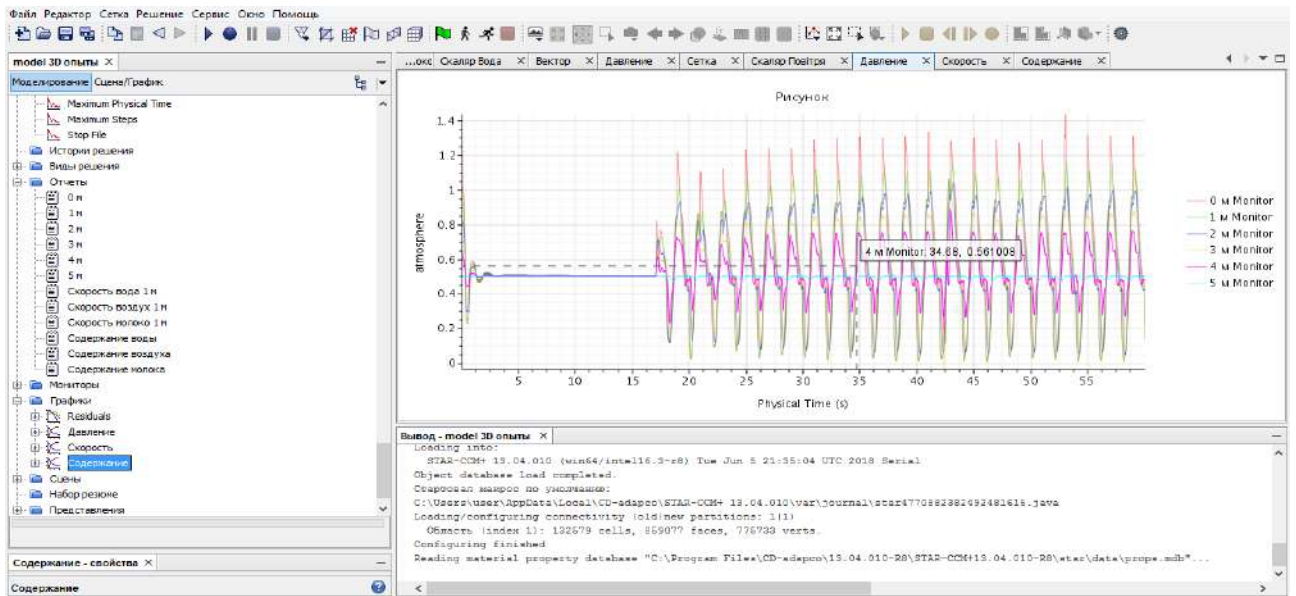
12. Формування візуалізації процесу в програмному пакеті Star CCM+.





13. Формування графіків зміни критеріїв досліджень в програмному пакеті Star CCM+.



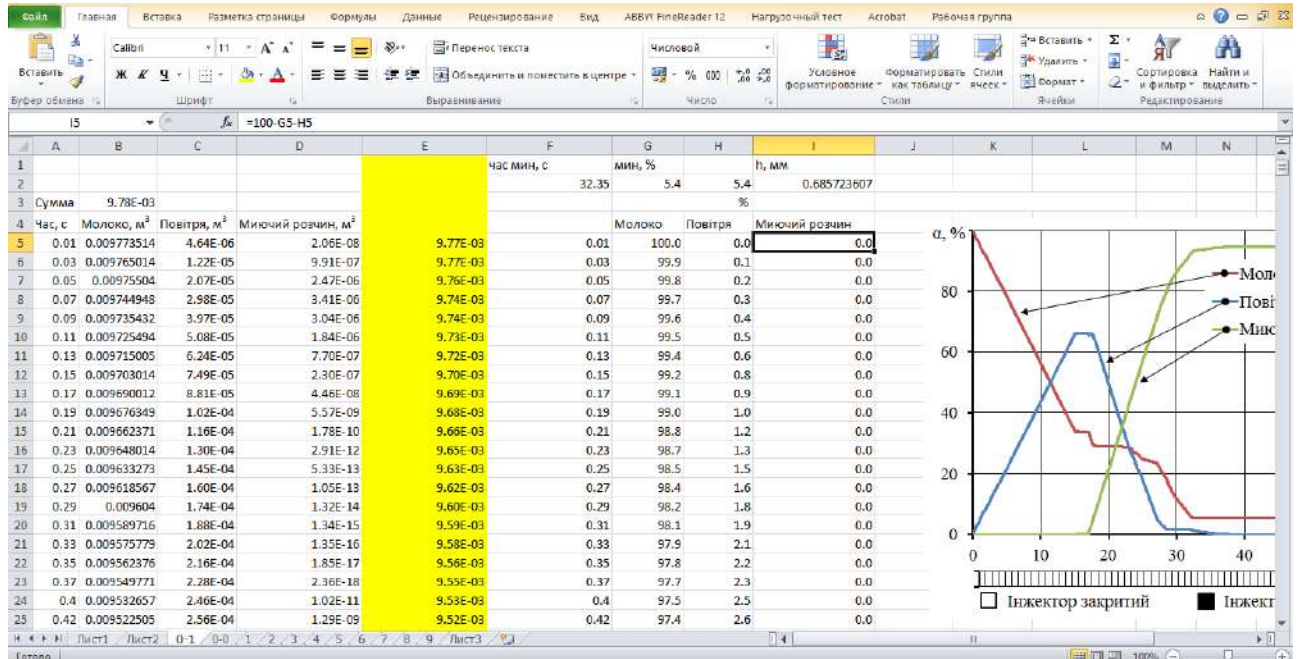


14. Проведення віртуального дослід згідно обраного плану досліджень.

	B	C	D	E	F
		Діаметр молокопровод у D _н , мм	Робочий вакууметричний тиск P, кПа	Тривалість такту повітряного інжектору t _{ін} , с	Тривалість паузи повітряного інжектору t _р , с
0-0		50	45	60	0
0-1		50	45	0	60
1		50	45	1	1
2		50	45	1	5
3		50	45	1	9
4		50	45	5	1
5		50	45	5	5
6		50	45	5	9
7		50	45	9	1
8		50	45	9	5
9		50	45	9	9
10		50	60	1	1
11		50	60	1	5
12		50	60	1	9
13		50	60	5	1
14		50	60	5	5
15		50	60	5	9
16		50	60	9	1
17		50	60	9	5
18		50	60	9	9
19		50	75	1	1
20		50	75	1	5

Лист1 Лист2 0-1 0-0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 Лист3

15. Перетворення даних у табличні форми Microsoft Excel.



16. Обробка даних в Microsoft Excel. Визначення середніх значень критеріїв.

17. Подальша обробки отриманих даних у програмному пакеті Mathematica.

Визначення рівнянь регресії.

```

Wolfram Mathematica 9.0 - [hnb *]
File Edit Insert Format Cell Graphics Evaluation Palettes Window Help

hnb *
{(-1, 1, 1, 0.594442231327716), (0, -1, -1, 0.337751265286713), (0, -1, -1, 0.368108396526557), (0, -1, -1, 1, 0.520362960171984),
(0, -1, 0, -1, 0.337751265286713), (0, -1, 0, 0, 0.349890388060959), (0, -1, 0, 1, 0.483750238216238), (0, -1, 1, -1, 0.428916151077587), (0, -1, 1, 0, 0.422829749957483),
(0, -1, 1, 1, 0.538686383665782), (0, 0, -1, -1, 0.325617108354215), (0, 0, -1, 0, 0.355961813545039), (0, 0, -1, 1, 0.508153669191885), (0, 0, 0, -1, 0.325617108354215),
(0, 0, 0, 0, 0.337751265286713), (0, 0, 0, 1, 0.471556085699336), (0, 0, 1, -1, 0.416744601041622), (0, 0, 1, 0, 0.410660703557439), (0, 0, 1, 1, 0.526469502280525),
(0, 1, -1, -1, 0.374183555554118), (0, 1, -1, 0, 0.404578056733166), (0, 1, -1, 1, 0.557021210482116), (0, 1, 0, -1, 0.374183555554118), (0, 1, 0, 0, 0.386337612514049),
(0, 1, 0, 1, 0.520362960171984), (0, 1, 1, -1, 0.46546089745093), (0, 1, 1, 0, 0.459366966837017), (0, 1, 1, 1, 0.575367461937608), (1, -1, -1, -1, 0.553704843626505),
(1, -1, -1, 0, 0.589285825487434), (1, -1, -1, 1, 0.767745473019162), (1, -1, 0, -1, 0.553704843626505), (1, -1, 0, 0, 0.567932824182629), (1, -1, 0, 1, 0.724830416174452),
(1, -1, 1, -1, 0.66058391260933), (1, -1, 1, 0, 0.653424479287605), (1, -1, 1, 1, 0.789223189176194), (1, 0, -1, -1, 0.450727214599724), (1, 0, -1, 0, 0.486202034548559),
(1, 0, -1, 1, 0.664125903073328), (1, 0, 0, -1, 0.450727214599724), (1, 0, 0, 0, 0.46491276976414), (1, 0, 0, 1, 0.621340194824351), (1, 0, 1, -1, 0.557261287754717),
(1, 0, 1, 0, 0.550148766649226), (1, 0, 1, 1, 0.68553876278982), (1, 1, -1, -1, 0.418830991419623), (1, 1, -1, 0, 0.454273057294046), (1, 1, -1, 1, 0.632031628273398),
(1, 1, 0, -1, 0.418830991419623), (1, 1, 0, 0, 0.433003457054589), (1, 1, 0, 1, 0.589285825487434), (1, 1, 1, -1, 0.525266498491971), (1, 1, 1, 0, 0.518160576906575),
(1, 1, 1, 1, 0.653424479287605));

nlm = NonlinearModelFit[M, a0 + a10 * x1 + a20 * x2 + a30 * x3 + a40 * x4 +
a12 * x1 * x2 + a13 * x1 * x3 + a14 * x1 * x4 + a23 * x2 * x3 + a24 * x2 * x4 + a34 * x3 * x4 +
a11 * x1^2 + a22 * x2^2 + a33 * x3^2 + a44 * x4^2,
{a00, a10, a20, a30, a40, a12, a13, a14, a23, a24, a34, a11, a22, a33, a44}, {x1, x2, x3, x4}];

"Закодоване повне"
Normal[nlm]
"Критерій Стюдента"
nlm["ParameterTable"]

Закодоване повне
0.337492 - 0.0816377 x1 - 0.0609942 x1^2 + 0.00981812 x2 - 0.0732213 x1 x2 - 0.0305382 x2^2 - 0.0274136 x3 +
0.00457199 x1 x3 + 9.09953 * 10^-6 x2 x3 - 0.0457208 x3^2 - 0.0731846 x4 - 0.0122056 x1 x4 - 0.000024347 x2 x4 - 0.0182404 x3 x4 - 0.061028 x4^2

Критерій Стюдента
Estimate Standard Error t-Statistic P-Value
90%

```

18. Статистична обробка даних у програмному пакеті Mathematica.

Wolfram Mathematica 9.0

File Edit Insert Format Cell Graphics Evaluation Palettes Window Help

h.nb *

Критерій Сюдента

	Estimate	Standard Error	t-Statistic	P-Value
a00	0.337492	0.00272132	124.018	6.38376×10^{-20}
a10	0.0816377	0.00111097	73.4831	4.96084×10^{-15}
a20	0.00981812	0.00111097	8.8374	8.4597×10^{-13}
a30	0.0274136	0.00111097	24.6753	4.93061×10^{-15}
a40	0.0731846	0.00111097	65.8743	6.12415×10^{-12}
a12	-0.0732213	0.00136066	-53.8132	3.0103×10^{-10}
a13	0.00457199	0.00136066	3.36013	0.00129839
a14	0.0122056	0.00136066	8.97038	4.90858×10^{-13}
a23	9.09953×10^{-5}	0.00136066	0.00668759	0.994684
a24	0.000024347	0.00136066	0.0178935	0.985778
a34	-0.0182404	0.00136066	-13.4055	1.64895×10^{-20}
a11	0.0609942	0.00192426	31.6974	1.17348×10^{-11}
a22	0.0305382	0.00192426	15.8701	3.24016×10^{-14}
a33	0.0457208	0.00192426	23.7602	4.65679×10^{-14}
a44	0.061028	0.00192426	31.715	1.13378×10^{-11}

"Закодоване скорочення"

$$h[x_1, x_2, x_3, x_4] := 0.33749163107374164 + 0.08163773681221664 x_1 + 0.0609941523464412 x_1^2 + 0.009818118261607927 x_2 - 0.07322134632096802 x_1 x_2 + 0.030538229688923592 x_2^2 + 0.027413551972864374 x_3 + 0.004571985998646022 x_1 x_3 + 0.04572080229328459 x_3^2 + 0.07318462265696218 x_4 + 0.012205625860947401 x_1 x_4 - 0.018240373085891565 x_3 x_4 + 0.06102801767362969 x_4^2$$

h[x1, x2, x3, x4]

"Розкладане скорочення"

```

x40 = 5;
dx4 = 4;
x30 = 5;
dx3 = 4;
x20 = 60;
dx2 = 15;
x10 = 60;
dx1 = 10;
h[x1, x2, x3, x4] := Expand[h((D[x10, dx1] + P[x20, dx2] + U[x30, dx3] + V[x40, dx4]))];

```

19. Побудова графіків у програмному пакеті Mathematica.

Wolfram Mathematica 9.0

File Edit Insert Format Cell Graphics Evaluation Palettes Window Help

h.nb *

Графіки

Опції: D=50 ms

```
{0.243362, {P -> 45.0016, t1 -> 3.55984, t2 -> 2.78641}}
```

Опції: D=60 ms

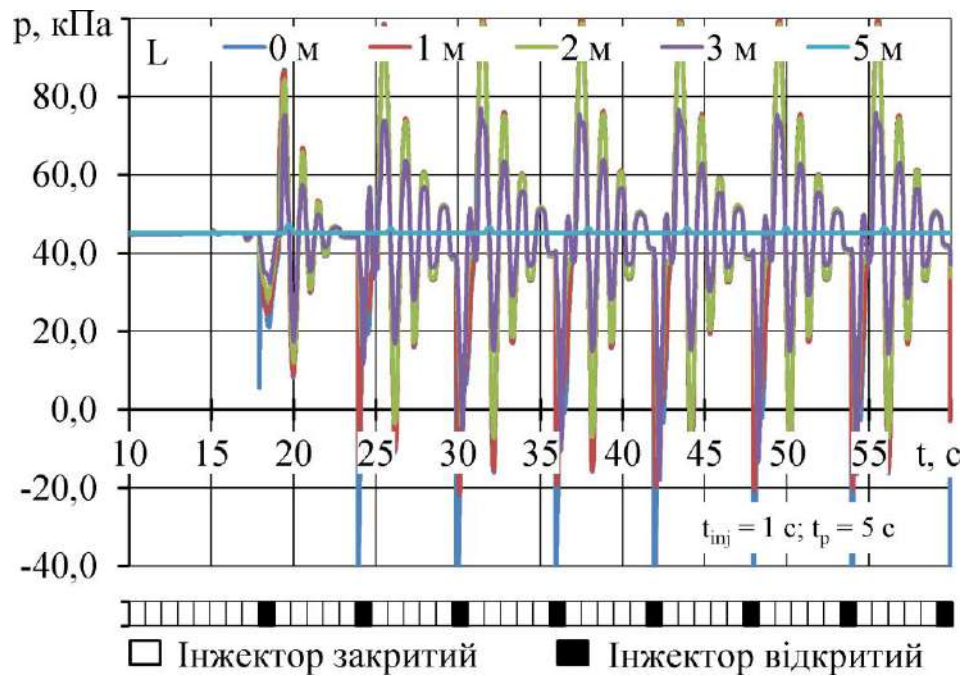
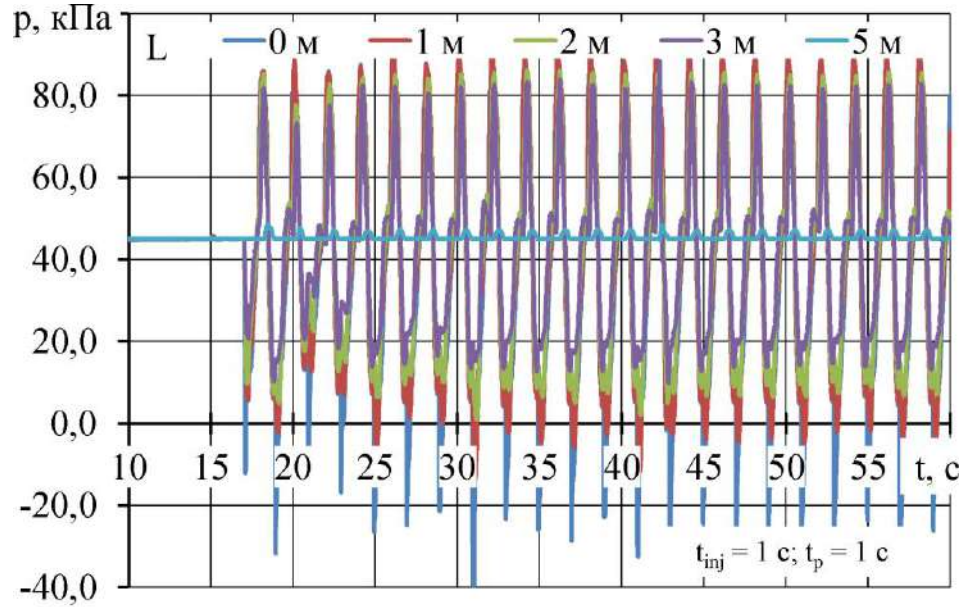
```
{0.306473, {P -> 57.8891, t1 -> 3.27091, t2 -> 2.34329}}
```

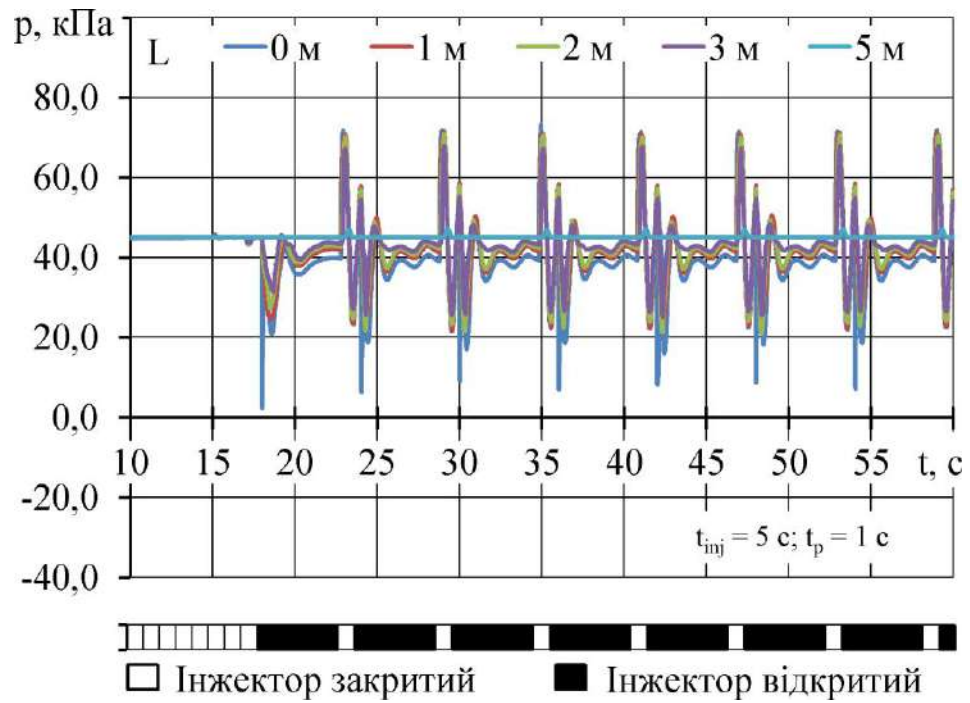
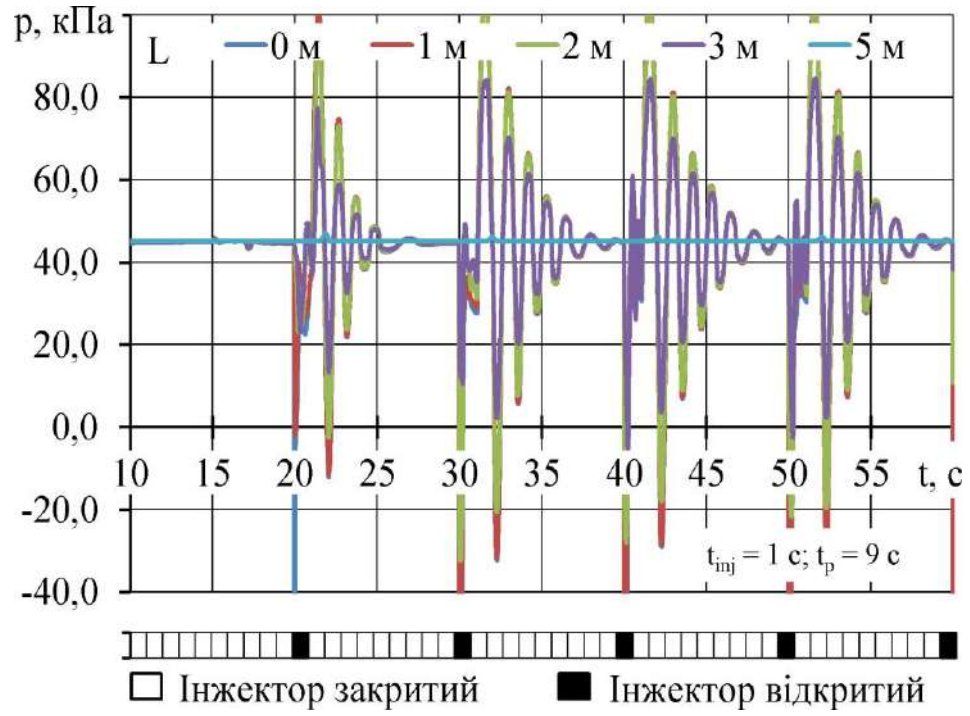
Опції: D=70 ms

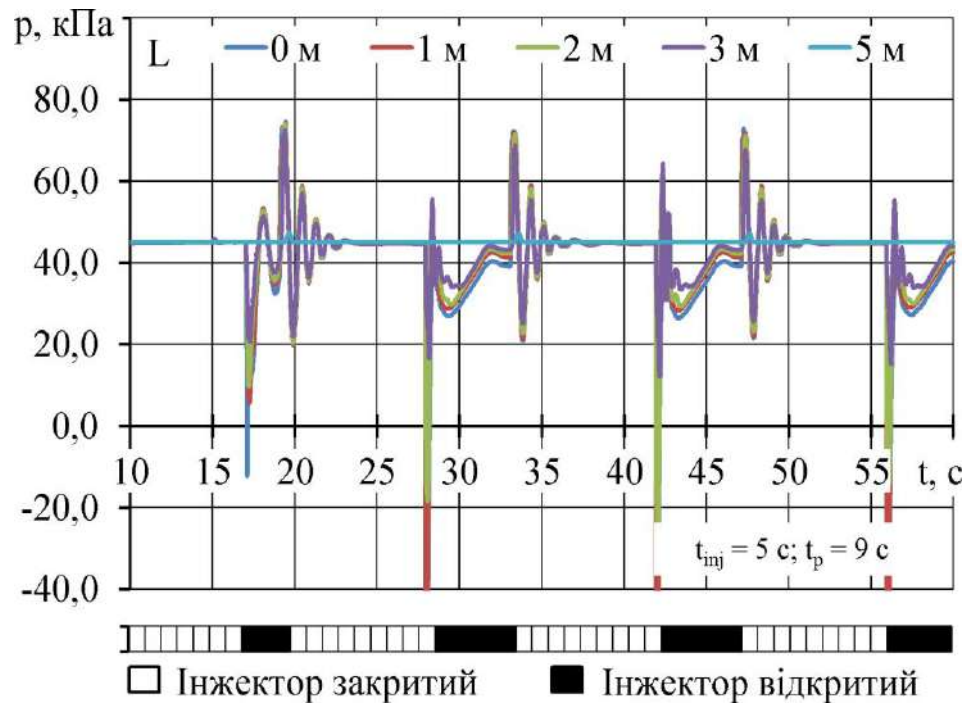
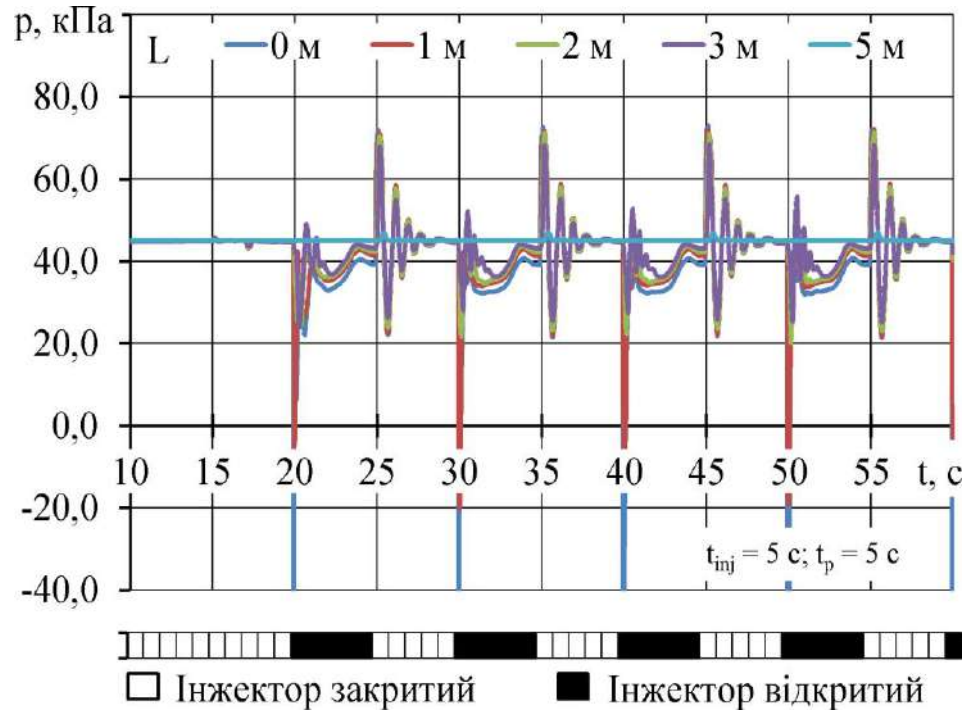
```
{0.408106, {P -> 74.9904, t1 -> 2.98264, t2 -> 1.9002}}
```

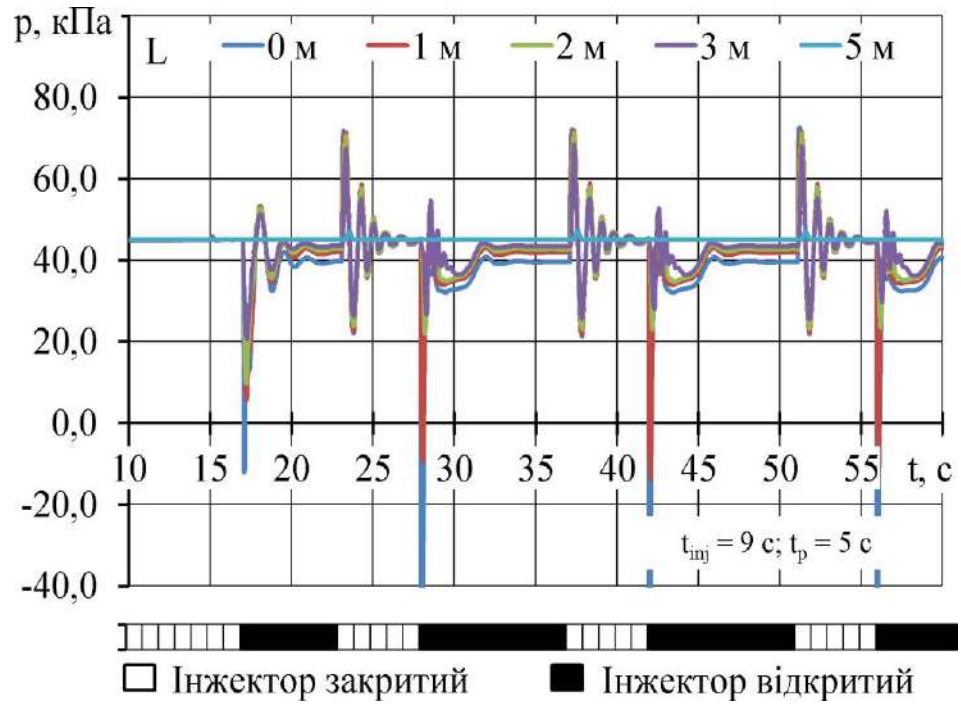
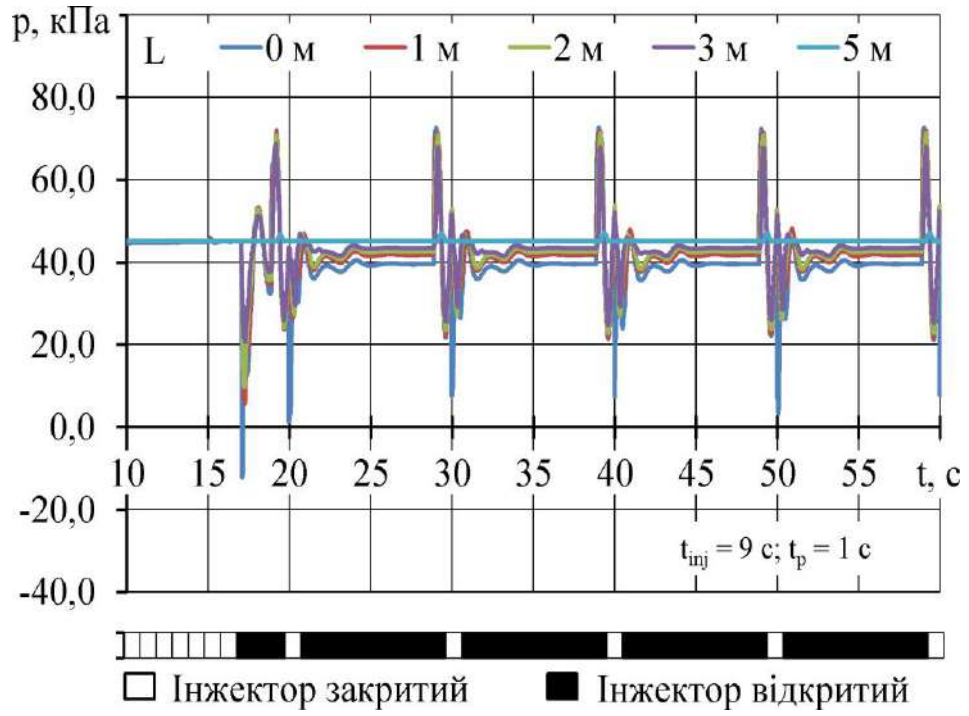
Додаток В

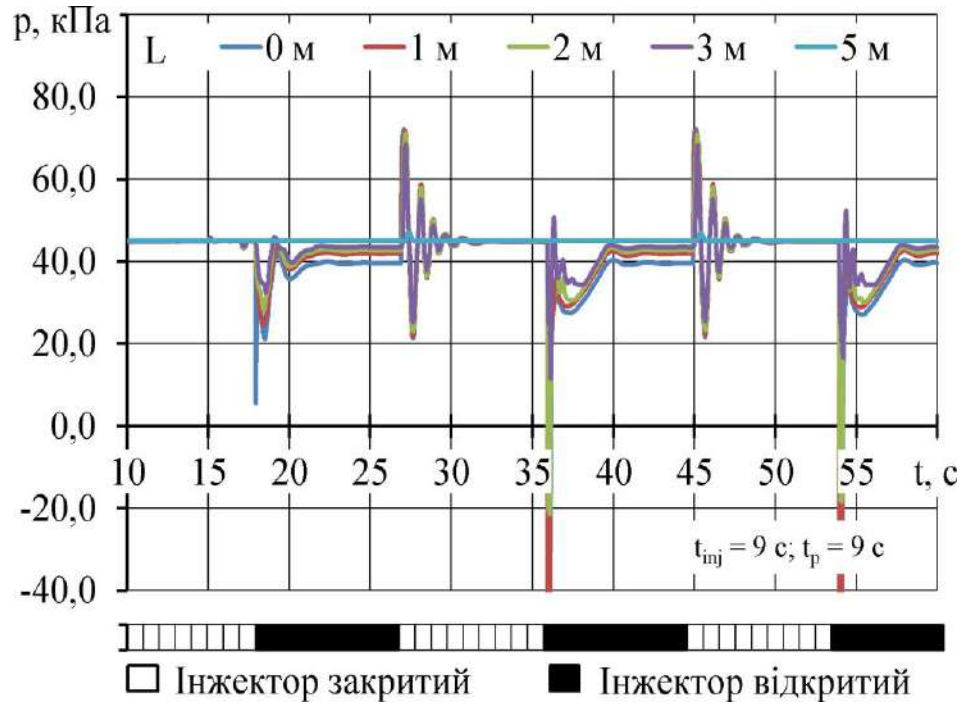
Динаміка зміни вакуумметричного тиску
в молокопровідній лінії доїльної установки





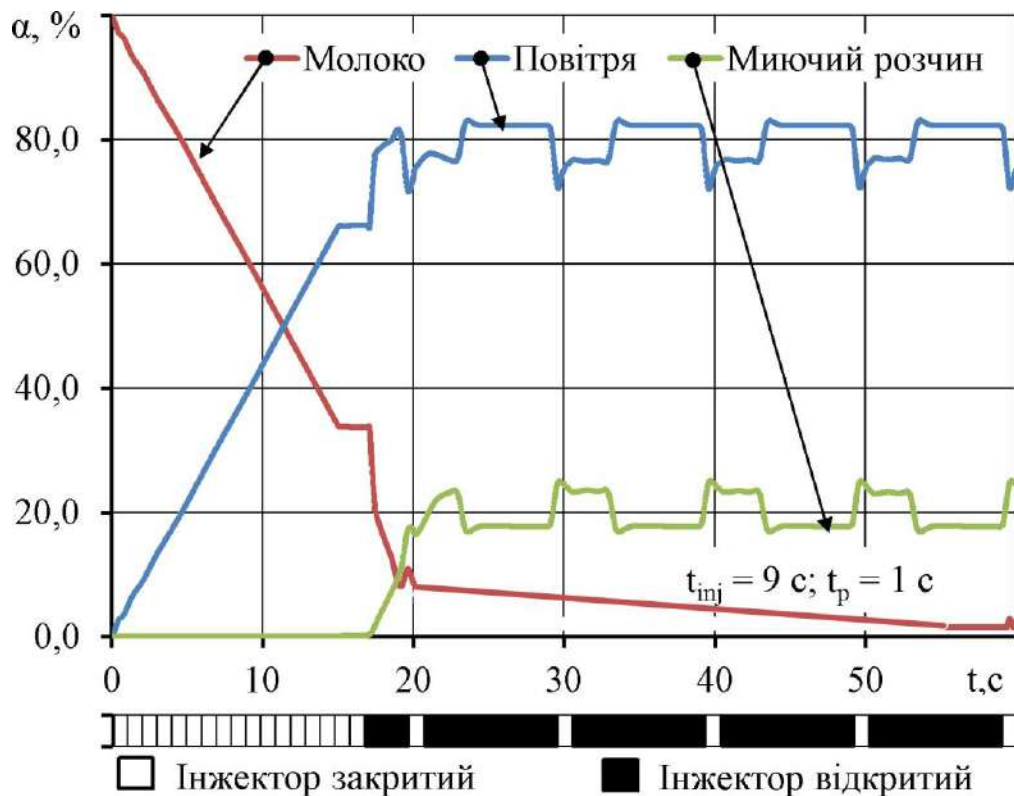
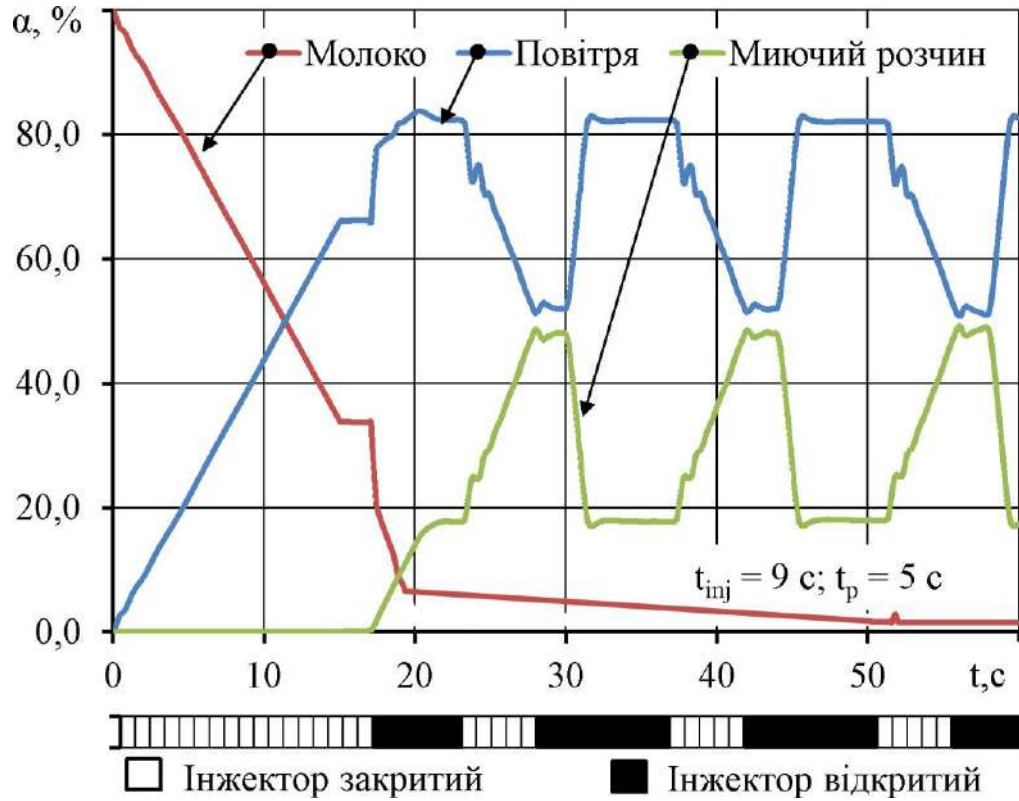


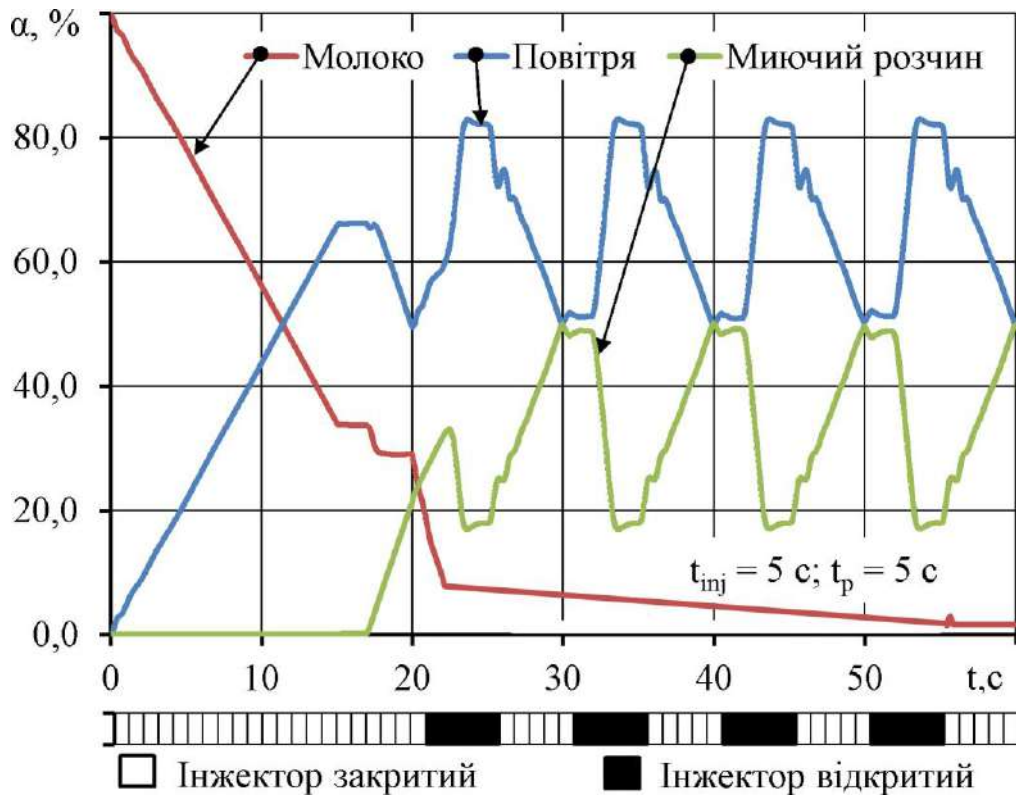
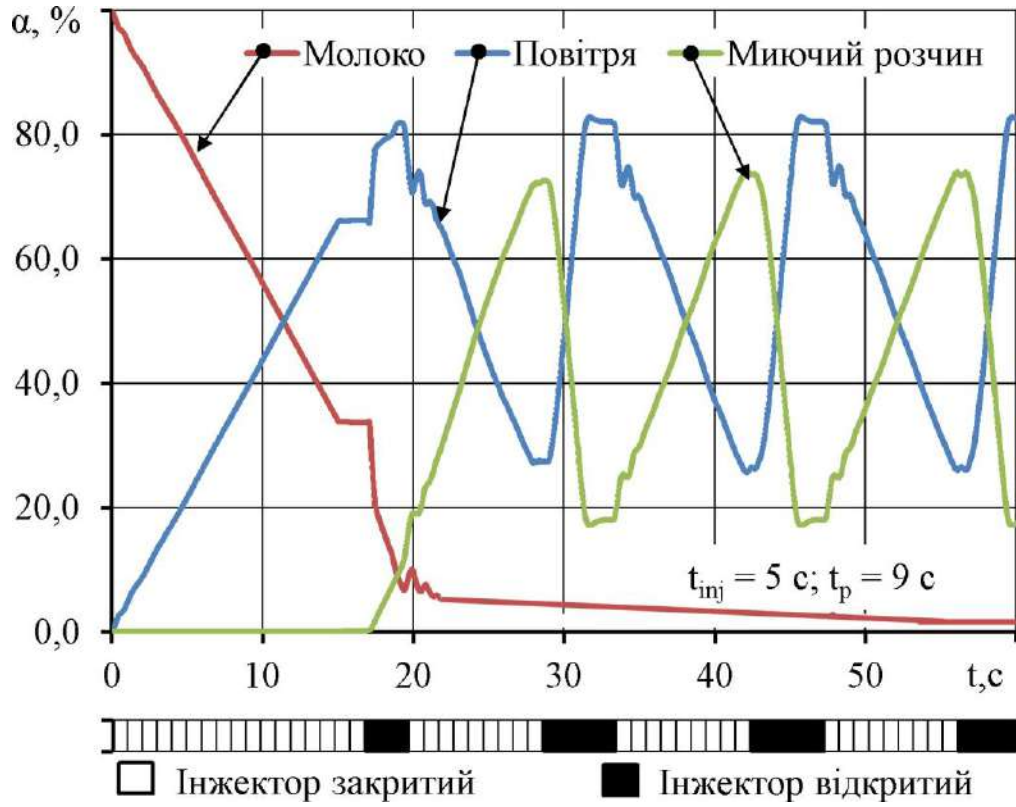


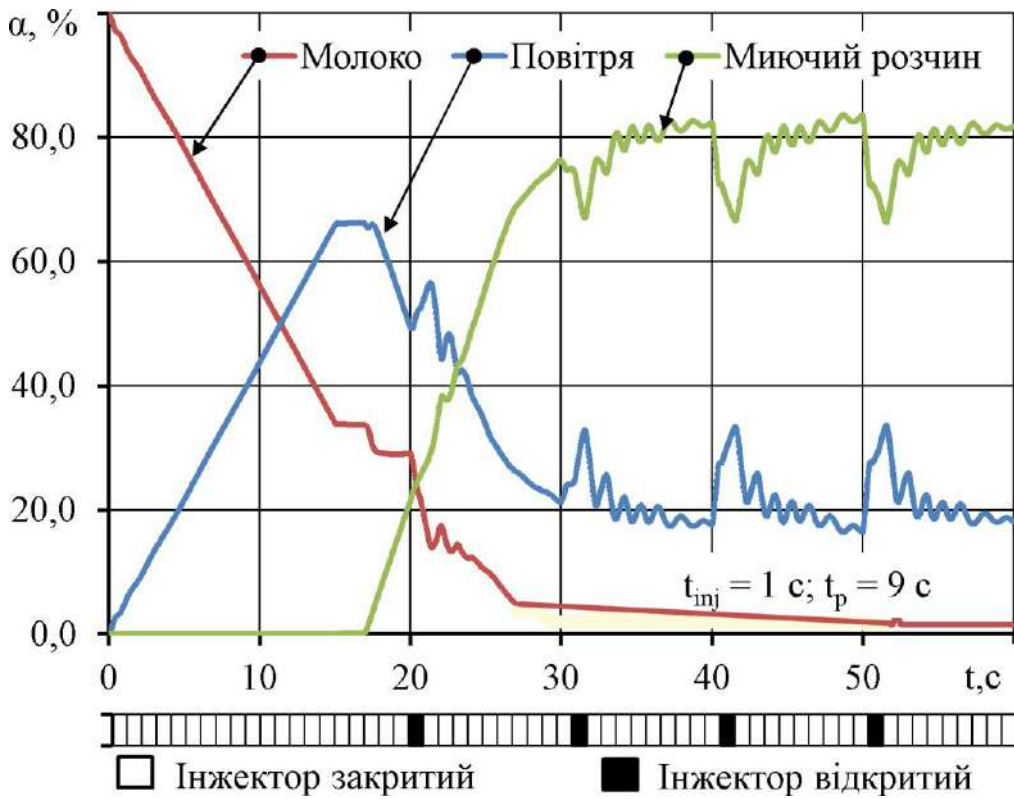
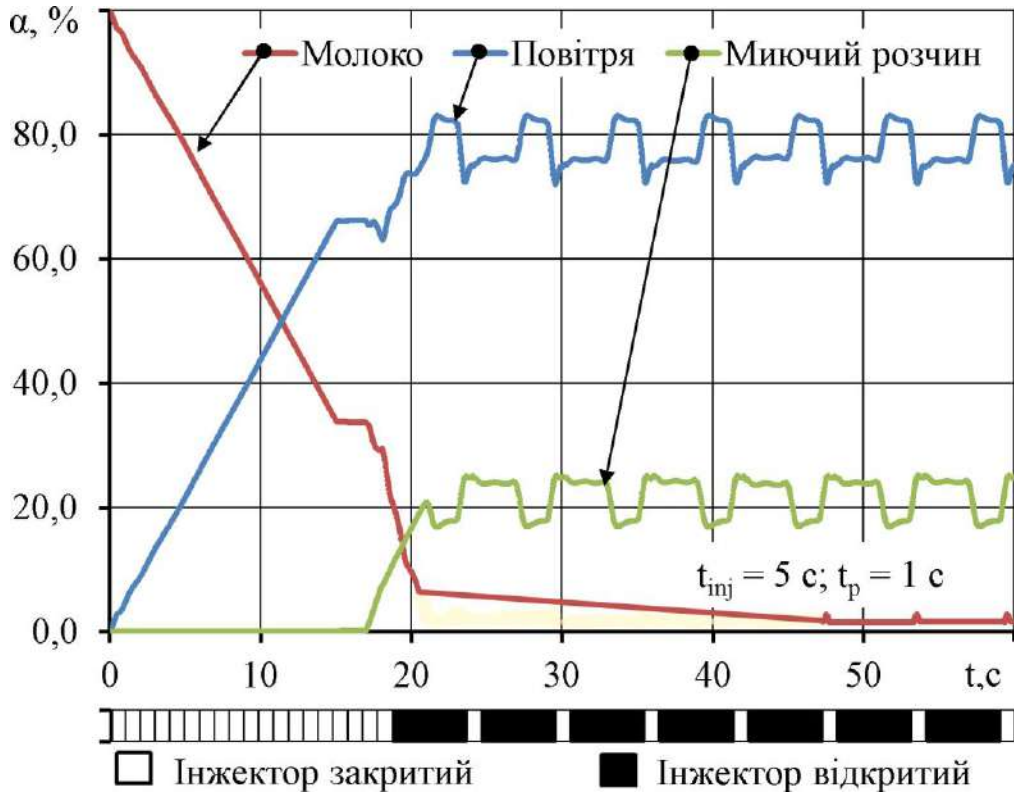


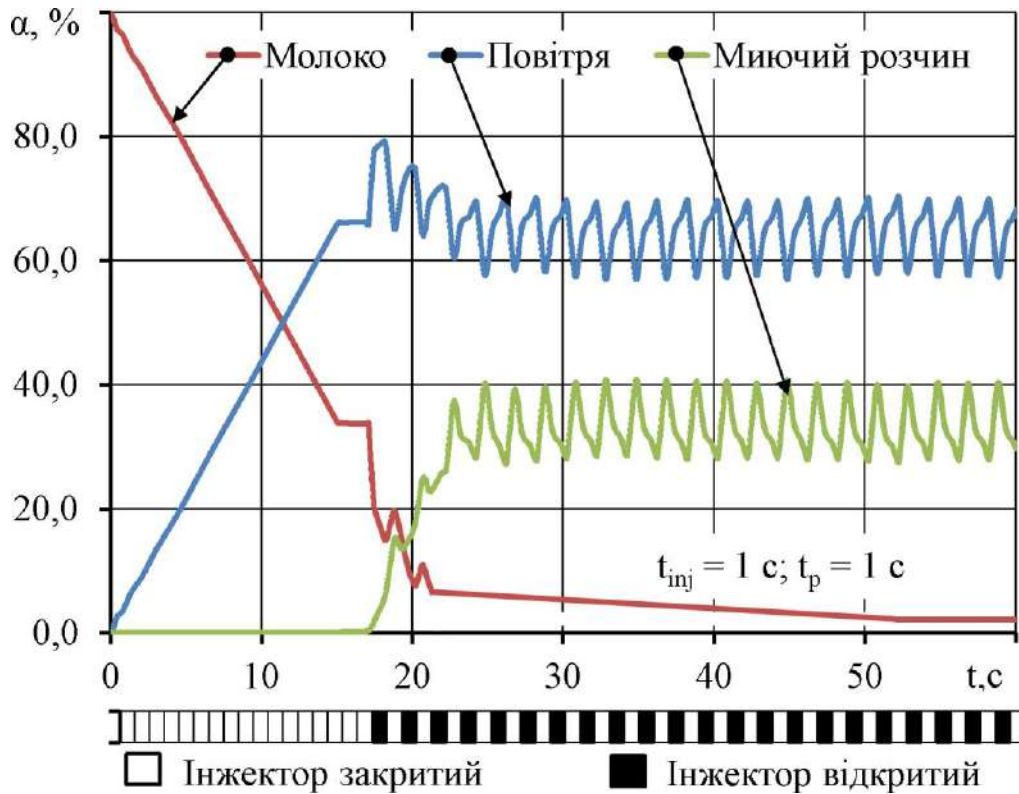
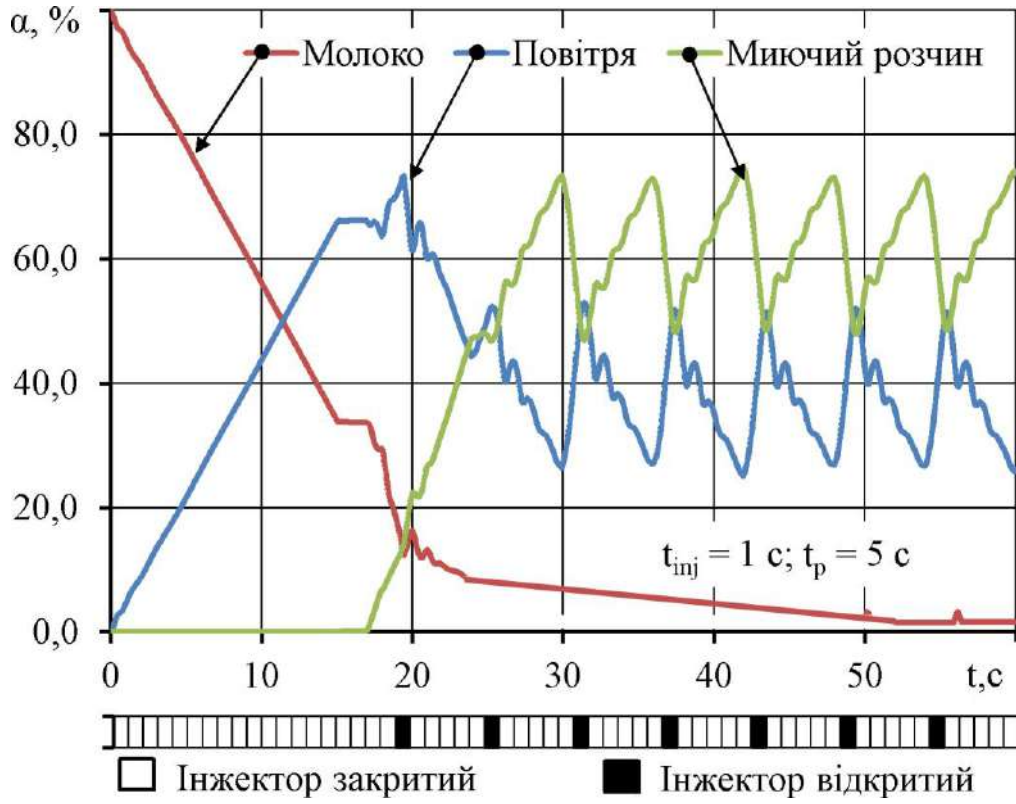
Додаток Г

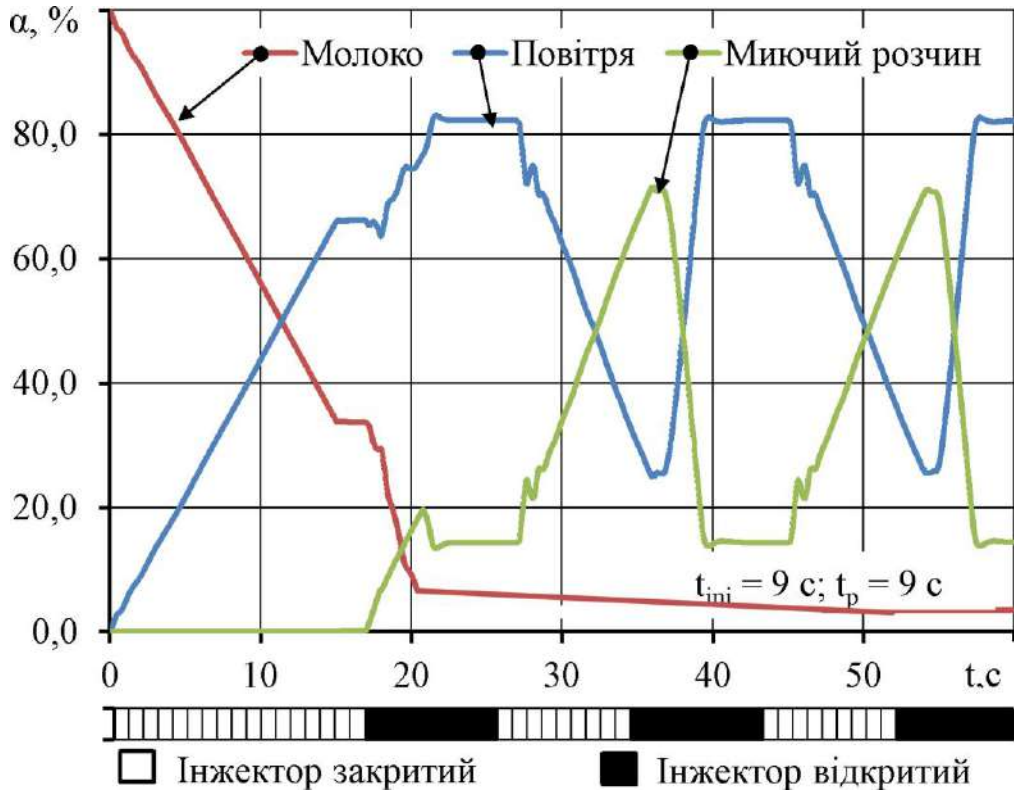
Динаміка зміни вмісту компонентів багатозфазного середовища
в молокопровідній лінії доїльної установки











Додаток Д

Таблиця Д.1 – Результати чисельного моделювання режимів роботи повітряного інжектора системи промивання

№	D _m , мм	P, кПа	t _{inj} , с	t _p , с	x ₁	x ₂	x ₃	x ₄	θ _{milk} , %	h, мм	$\frac{\Delta p}{\Delta t}$, кПа/с
1	50	45	1	1	-1	-1	-1	-1	2,14	0,27	67,1
2	50	45	1	5	-1	-1	-1	0	2,34	0,29	39,4
3	50	45	1	9	-1	-1	-1	1	3,34	0,42	27,2
4	50	45	5	1	-1	-1	0	-1	2,14	0,27	15,0
5	50	45	5	5	-1	-1	0	0	2,22	0,28	21,7
6	50	45	5	9	-1	-1	0	1	3,10	0,39	20,3
7	50	45	9	1	-1	-1	1	-1	2,74	0,34	11,6
8	50	45	9	5	-1	-1	1	0	2,70	0,34	15,4
9	50	45	9	9	-1	-1	1	1	3,46	0,44	13,6
10	50	60	1	1	-1	0	-1	-1	2,56	0,32	92,8
11	50	60	1	5	-1	0	-1	0	2,76	0,35	55,0
12	50	60	1	9	-1	0	-1	1	3,76	0,47	27,3
13	50	60	5	1	-1	0	0	-1	2,56	0,32	17,2
14	50	60	5	5	-1	0	0	0	2,64	0,33	21,7
15	50	60	5	9	-1	0	0	1	3,52	0,44	17,4
16	50	60	9	1	-1	0	1	-1	3,16	0,40	17,1
17	50	60	9	5	-1	0	1	0	3,12	0,39	16,3
18	50	60	9	9	-1	0	1	1	3,88	0,49	15,8
19	50	75	1	1	-1	1	-1	-1	3,38	0,43	95,6
20	50	75	1	5	-1	1	-1	0	3,58	0,45	70,0
21	50	75	1	9	-1	1	-1	1	4,58	0,58	27,1
22	50	75	5	1	-1	1	0	-1	3,38	0,43	18,2
23	50	75	5	5	-1	1	0	0	3,46	0,44	22,9
24	50	75	5	9	-1	1	0	1	4,34	0,55	19,0
25	50	75	9	1	-1	1	1	-1	3,98	0,50	13,5
26	50	75	9	5	-1	1	1	0	3,94	0,50	16,4
27	50	75	9	9	-1	1	1	1	4,70	0,59	16,6
28	60	45	1	1	0	-1	-1	-1	2,24	0,34	64,9
29	60	45	1	5	0	-1	-1	0	2,44	0,37	37,1
30	60	45	1	9	0	-1	-1	1	3,44	0,52	24,9
31	60	45	5	1	0	-1	0	-1	2,24	0,34	12,7
32	60	45	5	5	0	-1	0	0	2,32	0,35	19,4
33	60	45	5	9	0	-1	0	1	3,20	0,48	18,0
34	60	45	9	1	0	-1	1	-1	2,84	0,43	9,3
35	60	45	9	5	0	-1	1	0	2,80	0,42	13,1
36	60	45	9	9	0	-1	1	1	3,56	0,54	11,3
37	60	60	1	1	0	0	-1	-1	2,16	0,33	90,5

№	D _m , мм	P, кПа	t _{inj} , с	t _p , с	x ₁	x ₂	x ₃	x ₄	θ _{milk} , %	h, мм	$\frac{\Delta p}{\Delta t}$, кПа/с
38	60	60	1	5	0	0	-1	0	2,36	0,36	52,7
39	60	60	1	9	0	0	-1	1	3,36	0,51	25,0
40	60	60	5	1	0	0	0	-1	2,16	0,33	14,9
41	60	60	5	5	0	0	0	0	2,24	0,34	19,4
42	60	60	5	9	0	0	0	1	3,12	0,47	15,2
43	60	60	9	1	0	0	1	-1	2,76	0,42	14,9
44	60	60	9	5	0	0	1	0	2,72	0,41	14,1
45	60	60	9	9	0	0	1	1	3,48	0,53	13,6
46	60	75	1	1	0	1	-1	-1	2,48	0,37	93,3
47	60	75	1	5	0	1	-1	0	2,68	0,40	67,7
48	60	75	1	9	0	1	-1	1	3,68	0,56	24,9
49	60	75	5	1	0	1	0	-1	2,48	0,37	15,9
50	60	75	5	5	0	1	0	0	2,56	0,39	20,7
51	60	75	5	9	0	1	0	1	3,44	0,52	16,8
52	60	75	9	1	0	1	1	-1	3,08	0,47	11,2
53	60	75	9	5	0	1	1	0	3,04	0,46	14,1
54	60	75	9	9	0	1	1	1	3,80	0,58	14,3
55	70	45	1	1	1	-1	-1	-1	3,14	0,55	62,6
56	70	45	1	5	1	-1	-1	0	3,34	0,59	34,8
57	70	45	1	9	1	-1	-1	1	4,34	0,77	22,6
58	70	45	5	1	1	-1	0	-1	3,14	0,55	10,5
59	70	45	5	5	1	-1	0	0	3,22	0,57	17,1
60	70	45	5	9	1	-1	0	1	4,10	0,72	15,7
61	70	45	9	1	1	-1	1	-1	3,74	0,66	7,0
62	70	45	9	5	1	-1	1	0	3,70	0,65	10,9
63	70	45	9	9	1	-1	1	1	4,46	0,79	9,1
64	70	60	1	1	1	0	-1	-1	2,56	0,45	88,3
65	70	60	1	5	1	0	-1	0	2,76	0,49	50,5
66	70	60	1	9	1	0	-1	1	3,76	0,66	22,7
67	70	60	5	1	1	0	0	-1	2,56	0,45	12,7
68	70	60	5	5	1	0	0	0	2,64	0,46	17,2
69	70	60	5	9	1	0	0	1	3,52	0,62	12,9
70	70	60	9	1	1	0	1	-1	3,16	0,56	12,6
71	70	60	9	5	1	0	1	0	3,12	0,55	11,8
72	70	60	9	9	1	0	1	1	3,88	0,69	11,3
73	70	75	1	1	1	1	-1	-1	2,38	0,42	91,0
74	70	75	1	5	1	1	-1	0	2,58	0,45	65,4
75	70	75	1	9	1	1	-1	1	3,58	0,63	22,6
76	70	75	5	1	1	1	0	-1	2,38	0,42	13,7
77	70	75	5	5	1	1	0	0	2,46	0,43	18,4
78	70	75	5	9	1	1	0	1	3,34	0,59	14,5
79	70	75	9	1	1	1	1	-1	2,98	0,53	9,0
80	70	75	9	5	1	1	1	0	2,94	0,52	11,9
81	70	75	9	9	1	1	1	1	3,70	0,65	12,0

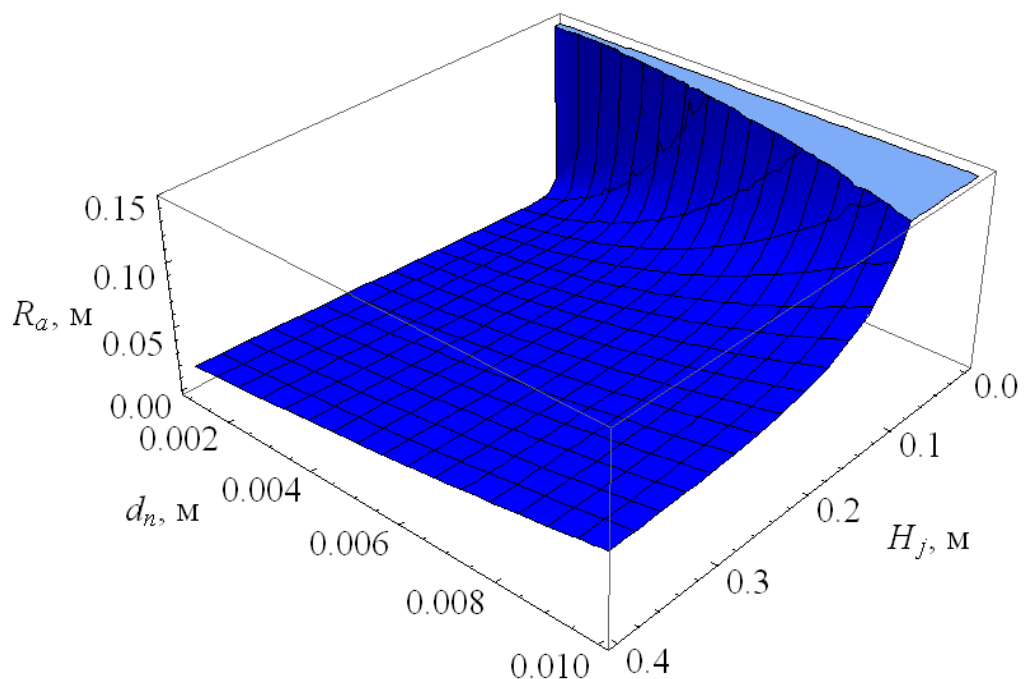
Додаток Е

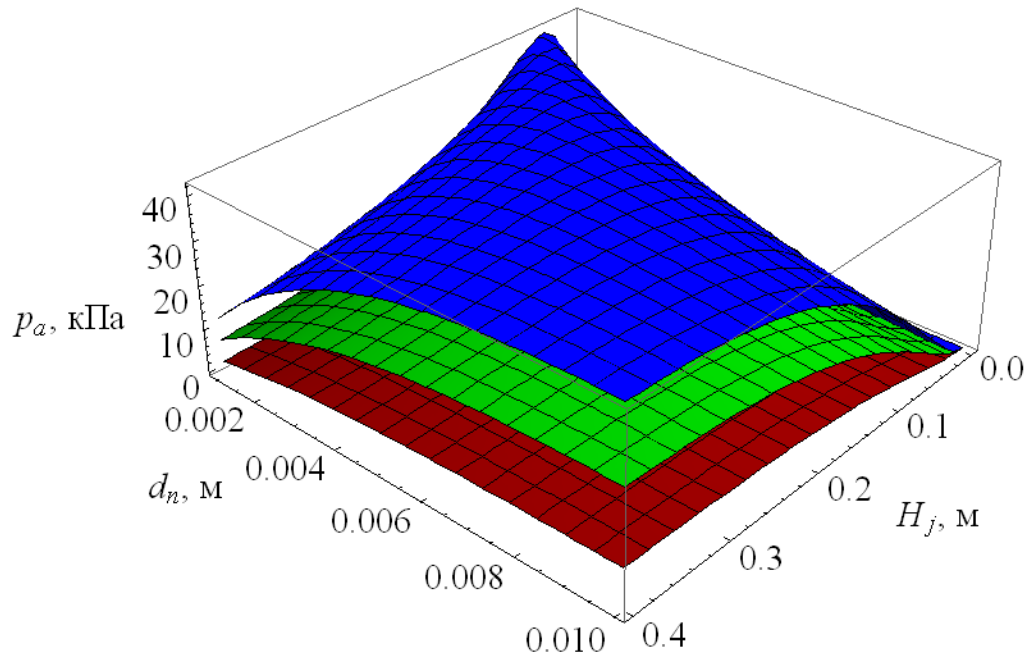
**Розрахунок конструктивно-режимних параметрів
насадки гідроінжектора системи промивання**

```

In[1]:= a=0.007;
X=0.67 dn/(2a);
pn=3 105;
Ra[Hj_,dn_]:=((3.4 a Hj+0.5dn)2 (2a Hj+0.29dn))/(3.84 a2 Hj2);
pa[Hj_,dn_,pn_]:=pn(((1.92 a2 Hj2 dn)/((3.4 a Hj+0.5dn)2 (2a Hj+0.29dn)))(1-
Exp[(3.4 a Hj+0.5dn)2/(-2 a2 Hj2)])
Plot3D[{Ra[Hj,dn]},{Hj,0,400/1000},{dn,1/1000,10/1000},PlotStyle→{Gr
een,Blue},
      AxesLabel→{"Hj,
      м","dn,
      м","Ra,
      м"},LabelStyle→(FontSize→14)]
Plot3D [{pa[Hj,dn,2 105]/1000, pa[Hj,dn,3.5 105]/1000, pa[Hj,dn, 5
105]/1000}, {Hj,0,400/1000}, {dn,1/1000,10/1000}, PlotStyle
→ {Red,Green,Blue}, AxesLabel → {"Hj, м","dn, м","pa, кПа"}, LabelStyle
→ (FontSize→14)]
"pa, кПа "
Opt = FindMaximum [{ pa [Hj, dn, 3 105]/1000, 0≤Hj≤400/1000,
1/1000≤dn≤10/1000}, {Hj,400/1000}, {dn,1/1000}]
Hjopt = Hj/.Last[Opt];
dnopt = dn/.Last[Opt];
"Ra, м"
1000Ra[Hjopt,dnopt]
"F, H"
pa[Hjopt,dnopt,3 105]Pi (Ra[Hjopt,dnopt])2
Out[1]:=

```





p_a , кПа
 {42.0264, {H_j→0.166432, d_n→0.00217983}}

R_a , м
 23.6746

F, Н
 74.0007

Додаток Ж

Дані результатів експериментальних досліджень фотодатчика визначення забрудненості молокопровідної лінії

Таблиця Ж.1 – Зведені дані першого етапу досліджень фотодатчика визначення забрудненості молокопровідної лінії

V, мл	h, мм	R ₁ , Ом	R ₂ , Ом	ln(R ₂ /R ₁)	V, мл	h, мм	R ₁ , Ом	R ₂ , Ом	ln(R ₂ /R ₁)
1	0,657	10000	11547	0,1438	1	0,657	25000	28839	0,1428
2	1,045		13774	0,3202	2	1,045		34619	0,3255
3	1,371		15976	0,4685	3	1,371		40747	0,4885
4	1,663		18543	0,6175	4	1,663		45789	0,6052
5	1,93		21476	0,7644	5	1,93		54175	0,7734
1	0,657	15000	18257	0,1965	1	0,657	30000	34664	0,1445
2	1,045		21468	0,3585	2	1,045		41116	0,3152
3	1,371		25235	0,5202	3	1,371		47057	0,4502
4	1,663		28824	0,6532	4	1,663		56244	0,6285
5	1,93		33585	0,8060	5	1,93		63893	0,7560
1	0,657	20000	21916	0,0915	1	0,657	35000	36429	0,1942
2	1,045		26503	0,2815	2	1,045		42851	0,3565
3	1,371		30293	0,4152	3	1,371		50301	0,5168
4	1,663		35834	0,5832	4	1,663		57591	0,6522
5	1,93		41172	0,7220	5	1,93		67013	0,8037

Додаток И

Таблиця И.1 – Результати експериментальних досліджень режимів роботи повітряного інжектора системи промивання молокопроводів доїльної установки

№	P, кПа	t _{inj} , с	t _p , с	Q _v , л/хв.	x ₁	x ₂	x ₃	x ₄	θ _{milk} , %				ΔP/Δt, кПа			
									1	2	3	Сер.	1	2	3	Сер.
1	75	1	1	100	1	-1	-1	-1	58,3	57,0	56,5	57,3	72,0	72,3	70,6	71,6
2	45	9	1	100	-1	1	-1	-1	63,3	63,4	63,2	63,3	9,8	10,7	9,5	10,0
3	45	1	9	100	-1	-1	1	-1	57,2	57,2	56,7	57,0	15,2	15,6	14,9	15,2
4	45	1	1	300	-1	-1	-1	1	92,6	92,1	91,9	92,2	82,9	84,0	82,7	83,2
5	45	9	1	300	-1	1	-1	1	84,2	85,0	84,7	84,6	39,3	39,4	38,8	39,2
6	75	1	9	100	1	-1	1	-1	44,8	45,6	45,2	45,2	24,1	28,8	24,7	25,9
7	45	1	9	300	-1	-1	1	1	80,8	80,6	80,4	80,6	44,6	45,6	44,6	45,0
8	75	9	9	300	1	1	1	1	68,5	68,6	68,5	68,5	50,4	51,2	50,3	50,6
9	60	5	5	200	0	0	0	0	76,9	76,9	76,3	76,7	33,0	36,5	33,5	34,4
10	60	9	1	300	0	1	-1	1	81,2	81,3	81,2	81,2	43,7	44,9	43,8	44,1
11	45	5	1	100	-1	0	-1	-1	69,0	68,3	67,9	68,4	19,7	20,9	19,6	20,1
12	75	5	9	300	1	0	1	1	69,2	69,5	68,9	69,2	38,0	42,3	38,4	39,6
13	45	9	1	200	-1	1	-1	0	72,7	73,0	72,5	72,7	23,0	26,7	23,3	24,3
14	45	5	9	300	-1	0	1	1	82,4	83,4	83,1	83,0	34,8	38,6	35,5	36,3
15	60	9	9	100	0	1	1	-1	54,7	54,8	54,6	54,7	24,1	25,3	24,2	24,6
16	75	1	9	200	1	-1	1	0	56,0	56,0	55,5	55,8	38,8	42,2	39,0	40,0
17	75	1	5	300	1	-1	0	1	79,2	80,0	79,6	79,6	76,6	80,7	77,1	78,1
18	60	1	9	100	0	-1	1	-1	54,4	54,5	54,3	54,4	22,4	24,3	22,6	23,1

Додаток К

Таблиця К.1 – Результати експериментальних досліджень режимів роботи гідроінжектора системи промивання

№	x ₁	x ₂	x ₃	p _н , кПа	d _н , мм	H _н , м	F _в , Н				χ, %											
											t _н = 10 хв.				t _н = 10 хв.				t _н = 10 хв.			
							1	2	3	Сер.	1	2	3	Сер.	1	2	3	Сер.	1	2	3	Сер.
1	1	1	0	500	3	0,2	65,2	64,1	66,1	65,2	32,45	30,63	29,72	30,93	41,83	42,01	41,10	41,65	47,52	46,73	47,64	47,30
2	1	-1	0	500	1	0,2	62,7	61,3	66,3	63,4	33,40	32,10	34,42	33,31	49,16	43,86	46,18	46,40	55,04	51,28	49,52	51,95
3	-1	1	0	200	3	0,2	50,6	48,2	55,2	51,3	32,43	29,15	29,72	30,44	44,21	38,92	39,50	40,87	49,09	43,54	43,69	45,44
4	-1	-1	0	200	1	0,2	47,0	45,4	50,9	47,8	29,49	26,69	25,52	27,23	40,88	36,09	34,91	37,29	45,58	38,92	41,03	41,84
5	0	0	0	350	2	0,2	58,7	56,1	60,6	58,4	39,10	34,28	30,65	34,68	44,74	45,92	42,29	44,32	50,56	48,08	51,79	50,14
6	1	0	1	500	2	0,3	61,9	60,7	66,7	63,1	32,93	31,32	32,20	32,15	50,51	42,89	43,78	45,73	56,29	48,54	48,87	51,24
7	1	0	-1	500	2	0,1	64,1	62,0	68,0	64,7	36,93	33,14	30,97	33,68	48,51	44,71	42,55	45,26	54,29	47,73	50,75	50,93
8	-1	0	1	200	2	0,3	46,6	45,8	50,3	47,5	25,97	25,51	27,98	26,49	41,56	35,10	37,57	38,07	46,35	41,49	39,82	42,55
9	-1	0	-1	200	2	0,1	49,2	46,5	53,0	49,5	33,97	29,34	27,02	30,11	41,56	38,93	36,61	39,03	46,35	40,89	43,81	43,68
10	0	0	0	350	2	0,2	58,7	57,4	59,4	58,5	33,10	31,61	32,37	32,36	42,74	43,25	44,01	43,33	48,56	49,77	48,70	49,01
11	0	1	1	350	3	0,3	57,0	55,8	57,8	56,9	30,39	28,74	28,66	29,26	38,95	39,29	39,22	39,15	44,23	44,44	44,36	44,34
12	0	1	-1	350	3	0,1	50,2	49,6	52,1	50,7	24,17	23,36	23,68	23,74	35,04	32,22	32,55	33,27	39,47	36,59	36,70	37,59
13	0	-1	1	350	1	0,3	44,8	44,2	46,7	45,2	24,17	23,36	23,68	23,74	35,04	32,22	32,55	33,27	39,47	36,59	36,70	37,59
14	0	-1	-1	350	1	0,1	56,4	55,8	59,3	57,1	28,39	27,59	28,15	28,04	42,95	38,15	38,71	39,93	48,23	43,36	43,57	45,05
15	0	0	0	350	2	0,2	58,7	56,0	63,5	59,4	39,10	34,48	32,40	35,33	50,74	46,12	44,04	46,96	56,56	49,11	52,13	52,60

Додаток Л





УКРАЇНА

(19) UA (11) 140923 (13) U
 (51) МПК
 A01J 7/02 (2006.01)

МІНІСТЕРСТВО РОЗВИТКУ
 ЕКОНОМІКИ, ТОРГІВЛІ ТА
 СІЛЬСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА
 УКРАЇНИ

(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

(21) Номер заявки:	u 2019 09823	(72) Винахідник(и):	Бабин Ігор Анатолійович (UA), Яропуд Віталій Миколайович (UA), Грицун Анатолій Васильович (UA), Пришляк Віктор Миколайович (UA)
(22) Дата подання заявки:	16.09.2019	(73) Власник(и):	ВІННИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ, вул. Сонячна, 3, м. Вінниця, 21008 (UA)
(24) Дата, з якої є чинними права на корисну модель:	10.03.2020		
(46) Публікація відомостей про видачу патенту:	10.03.2020, Бюл.№ 5		

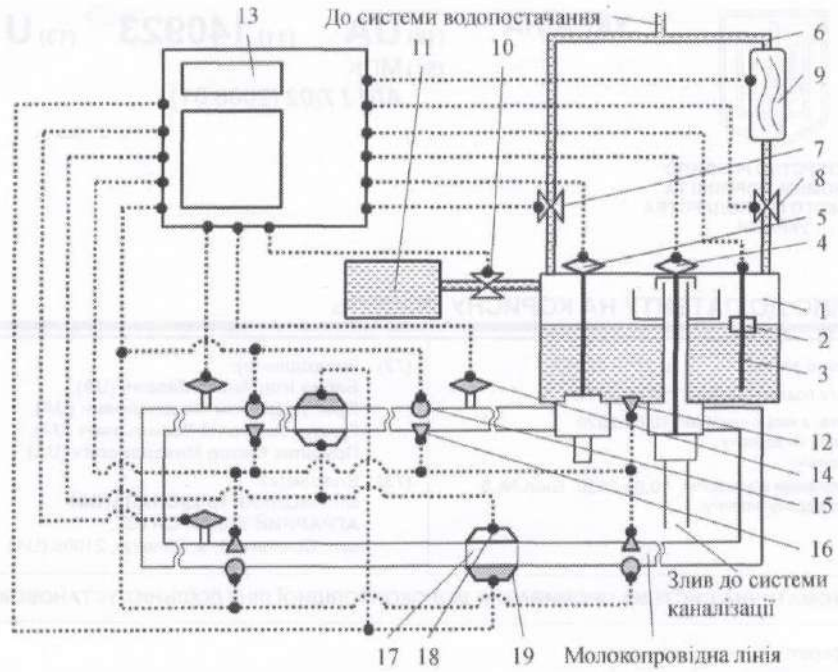
(54) АВТОМАТИЧНА СИСТЕМА ПРОМИВАННЯ МОЛОКОПРОВІДНОЇ ЛІНІЇ ДОЇЛЬНИХ УСТАНОВОК

(57) Реферат:

Автоматична система промивання молокопровідної лінії доїльних установок містить бак, поплавок, датчик рівня мийного розчину, клапан циркуляції-зливу, клапан всмоктування рідини на молокопровід, трубопровід, електромагнітний клапан пуску холодної води, електромагнітний клапан пуску гарячої води, водонагрівач, електромагнітний клапан пуску концентрату мийного розчину, ємність, контрольний датчик температури, блок керування. Додатково забезпечена електромагнітними клапанами пуску повітря, датчиками вакуумметричного тиску, датчиками температури і фотодатчиками, що складаються із фотодіодів і фоторезисторів, які розміщені на молокопровідній лінії доїльних установок і приєднані засобами електричних проводів до блока керування.

UA 140923 U

UA 140923 U



У цьому розділі наведено технічні дані та характеристики обладнання, яке використовується в системі водопостачання та каналізації. Це включає в себе насосні станції, насоси, клапани та інші компоненти, які забезпечують надійну роботу системи. Технічні дані наведено в таблицях нижче.

Позначення	Назва	Технічні дані
1	Насосна станція	Мощність: 10 кВт, Напір: 10 м
2	Насос	Мощність: 5 кВт, Напір: 5 м
3	Клапан	Тип: Шаровий, Розмір: DN 100
4	Клапан	Тип: Шаровий, Розмір: DN 100
5	Клапан	Тип: Шаровий, Розмір: DN 100
6	Клапан	Тип: Шаровий, Розмір: DN 100
7	Клапан	Тип: Шаровий, Розмір: DN 100
8	Клапан	Тип: Шаровий, Розмір: DN 100
9	Клапан	Тип: Шаровий, Розмір: DN 100
10	Клапан	Тип: Шаровий, Розмір: DN 100
11	Клапан	Тип: Шаровий, Розмір: DN 100
12	Клапан	Тип: Шаровий, Розмір: DN 100
13	Клапан	Тип: Шаровий, Розмір: DN 100
14	Клапан	Тип: Шаровий, Розмір: DN 100
15	Клапан	Тип: Шаровий, Розмір: DN 100
16	Клапан	Тип: Шаровий, Розмір: DN 100
17	Насос	Мощність: 5 кВт, Напір: 5 м
18	Насос	Мощність: 5 кВт, Напір: 5 м
19	Насос	Мощність: 5 кВт, Напір: 5 м

UA 140923 U

Корисна модель належить до сільського господарства, зокрема до техніки машинного доїння, і може бути використана для промивання молокопровідної лінії доїльних установок.

Відомий автомат промивки АП-03, виробництва ВАТ "Брацлав" [Інструкція з експлуатації автомата промивки АП-03 (версія 3.0)] складається з бака, поплавка, датчика рівня мийного розчину, клапана циркуляції-зливу, клапана всмоктування рідини на молокопровід, трубопроводу, електромагнітного клапана пуску холодної води, електромагнітного клапана пуску гарячої води, водонагрівача, електромагнітного клапана пуску концентрату мийного розчину, ємкості, контрольного датчика температури та блока керування.

До недоліків відомого обладнання слід віднести те, що неможливо контролювати стан забрудненості молокопровідної лінії, вакуумметричного тиску, температури і відповідно до цього змінювати режимні параметри його роботи, що призводить до низької якості виконання технологічної операції промивання.

Відомий пристрій для промивання молокопровідних систем доїльних установок [Патент на корисну модель UA 110859 U, МПК А01J 7/02 (2006.01) Пристрій для промивання молокопровідних систем доїльних установок / Палій А.П.; заявник Палій А.П. - № u201603632; заяв. 05.04.2016; опубл. 25.10.2016, Бюл. № 20, 2016 р.] складається із штанги з пружиною 3, яка повертається на осі 6. На кінцях штанги 3 розташовані напірний клапан 2 промивання мийною рідиною та повітряний клапан 5, які з'єднані зі штангою 3 за допомогою шарнірів 4. Штанга 3 утримується у визначеному положенні пружним елементом.

До недоліків відомого обладнання потрібно віднести те, що неможливо контролювати параметри турбулентного руху мийного засобу по молокопровідній системі.

У виробничих умовах для контролю за чистотою доїльно-молочного обладнання застосовують пристрій для визначення санітарно-гігієнічного стану доїльного обладнання [Патент на корисну модель UA 62161 U, МПК А01J 7/00. Пристрій для визначення санітарно-гігієнічного стану доїльного обладнання / Палій А.П., Палій А.П., Шепетко Ю.В. № u201102231; Заявл. 25.02.2011; Опубл. 10.08.2011, Бюл. № 15, 2011].

Недоліком зазначеного пристрою є те, що він не містить конкретних кроків щодо визначення ефективності санітарної обробки молокопроводу загалом і не може бути використаний для оперативного визначення стану забрудненості під час проведення технологічної операції промивки.

Задачею корисної моделі є підвищення продуктивності та якості технологічного процесу промивки молокопровідної лінії доїльної установки шляхом зменшення витрат води і енергозатрат на виконання зазначеного процесу.

В основу корисної моделі поставлена задача створення такої автоматичної системи промивання молокопровідної лінії доїльних установок, в якій шляхом встановлення додаткових елементів можливо оперативно визначати стан забрудненості молокопровідної лінії і відповідно автоматично змінювати її режимні параметри, що дасть змогу виконувати відповідний технологічний процес із більш високою продуктивністю та якістю при зменшенні витрат води і енергозатрат.

Поставлена задача вирішується тим, що автоматична система промивки молокопровідної лінії доїльних установок, яка містить бак, поплавок, датчик рівня мийного розчину, клапан циркуляції-зливу, клапан всмоктування рідини на молокопровід, трубопровід, електромагнітний клапан пуску холодної води, електромагнітний клапан пуску гарячої води, водонагрівач, електромагнітний клапан пуску концентрату мийного розчину, ємність, контрольний датчик температури, блок керування, згідно з корисною моделлю, додатково забезпечена електромагнітними клапанами пуску повітря, датчиками вакуумметричного тиску, датчиками температури і фотодатчиками, що складаються із фотодіодів і фоторезисторів, які розміщені на молокопровідній лінії доїльних установок і приєднані засобами електричних проводів до блока керування.

Корисна модель пояснюється кресленням. На кресленні представлено загальний вигляд автоматичної системи промивки молокопровідної лінії доїльних установок.

Автоматична система промивки молокопровідної лінії доїльних установок (креслення) містить бак 1, в якому встановлено поплавок 2, датчик рівня мийного розчину 3, клапан циркуляції-зливу 4, клапан всмоктування рідини на молокопровід 5. До бака 1 приєднано трубопровід 6, який через електромагнітний клапан пуску холодної води 7 приєднано до системи водопостачання. Також до трубопроводу 6 через електромагнітний клапан пуску гарячої води 8 приєднано водонагрівач 9, який в свою чергу з'єднаний із системою водопостачання. До нижньої частини клапана всмоктування рідини на молокопровід 5 приєднано початок молокопровідної лінії, а до нижньої частини клапана циркуляції-зливу 4 приєднано кінець молокопровідної лінії і злив до системи каналізації. До бака 1 через

UA 140923 U

електромагнітний клапан пуску концентрату мийного розчину 10 приєднано ємність 11. На бак 1 встановлено контрольний датчик температури 12. Датчик рівня мийного розчину 3, клапан циркуляції-зливу 4, клапан всмоктування рідини на молокопровід 5, електромагнітний клапан пуску холодної води 7, електромагнітний клапан пуску гарячої води 8, водонагрівач 9, електромагнітний клапан пуску концентрату мийного розчину 10 і контрольний датчик температури 12 по засобах електричних проводів (на фіг. 1 відзначено пунктирною лінією) приєднані до блока керування 13.

На молокопровідній лінії через кожні 10 м встановлені електромагнітні клапани пуску повітря 14, датчики вакуумметричного тиску 15, датчики температури 16 і фотодатчики 17. Фотодатчики 17 складаються із фотодіодів 18 і фоторезисторів 19, які розміщені на прозорій частині молокопровідної лінії. Електромагнітні клапани пуску повітря 14, датчики вакуумметричного тиску 15, датчики температури 16, фотодіоди 17 і фоторезистори 18 по засобах електричних проводів приєднані до блока керування 13.

Автоматична система промивки молокопровідної лінії доїльних установок працює таким чином. На початку роботи в блок керування 13 оператор задає температуру мийного розчину, його концентрацію і запускає процес промивання. Блок керування 13 передає сигнал до водонагрівача 9 і вмикає його. Далі блок керування 13 зчитує значення температури з контрольного датчика температури 12, який встановлено на бак 1, і вмикає відповідний електромагнітний клапан пуску холодної води 7 та електромагнітний клапан пуску гарячої води 8 залежно від встановленої температури. У результаті цього бак 1 наповнюється водою заданої температури. Блок керування 13 зчитує значення рівня мийного розчину з датчика рівня мийного розчину 3, який встановлено в бак 1, і вмикає електромагнітний клапан пуску концентрату мийного розчину 10 залежно від встановленої концентрації мийного розчину. В момент досягнення мийного розчину рівня поплавка 2 в бак 1, блок керування 13 відключає електромагнітний клапан пуску холодної води 7, електромагнітний клапан пуску гарячої води 8 і електромагнітний клапан пуску концентрату мийного розчину 10.

Після цього блок керування 13 відкриває клапан всмоктування рідини на молокопровід 5 і встановлює клапан циркуляції-зливу 4 в режим циркуляції. У результаті чого мийний розчин починає циркулювати молокопровідною лінією. Інформація з усіх датчиків тиску 15 і датчиків температури 16 надходить до блока керування 13, де вона фіксується. За допомогою отриманих даних з датчиків температури 16 встановлюється відповідна температура мийного розчину в бак 1 шляхом "включення/відключення" електромагнітного клапана пуску холодної води 7 і електромагнітного клапана пуску гарячої води 8.

Блок керування 13 вмикає фотодіоди 18 фотодатчиків 17. У результаті цього змінюється електричний опір фоторезисторів 19, значення яких передаються до блока керування 13. Чим більший електричний опір фоторезисторів 19, тим молокопровідна лінія більш засмічена молочними відкладеннями. У разі перевищення граничного значення електричного опору блок керування 13 періодично вмикає електромагнітні клапани пуску повітря 14, впускаючи атмосферне повітря у молокопровідну лінію. Таким чином виникає турбулентний рух мийного розчину молокопровідною лінією. Параметри цього руху контролюються датчиками тиску 15.

Після закінчення промивки молокопровідної лінії, про що свідчать значення опорів фоторезисторів 19, які отримані з фотодатчиків 17, блок керування 13 встановлює клапан циркуляції-зливу 4 в режим зливу. Далі весь мийний розчин зливається до системи каналізації, а датчик рівня мийного розчину 3 показує значення "0". Після чого блок керування 13 закриває клапан всмоктування рідини на молокопровід 5, електромагнітний клапан пуску холодної води 7, електромагнітний клапан пуску гарячої води 8, електромагнітний клапан пуску концентрату мийного розчину 10 і клапан циркуляції-зливу 4.

За необхідності весь цикл промивання повторюється.

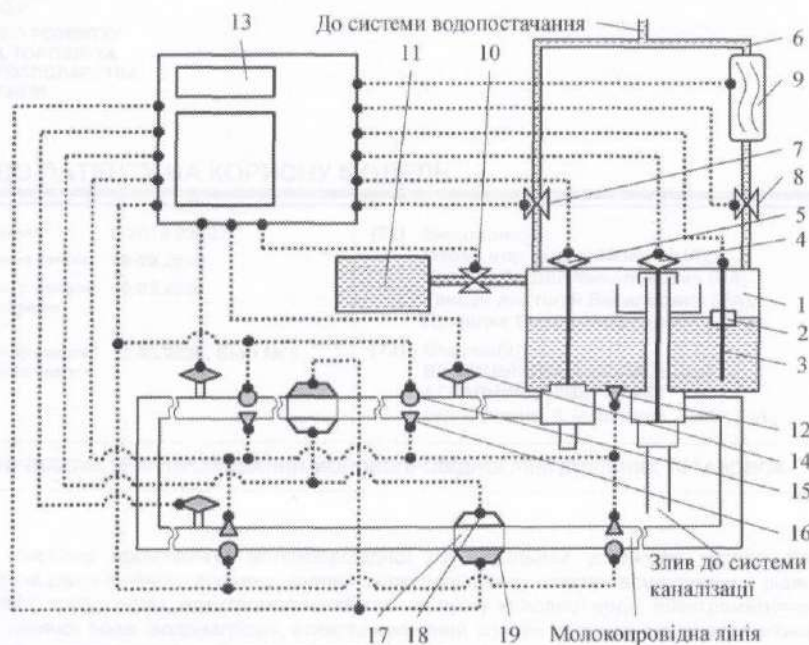
Використання автоматичної системи промивання молокопровідної лінії доїльних установок, в якій шляхом встановлених додаткових датчиків тиску, датчиків температури, фотодатчиків, що складаються з фотодіодів і фоторезисторів, електромагнітних клапанів пуску повітря, дозволяє виконувати відповідний технологічний процес із вищою продуктивністю та якістю при зменшенні витрат води та енергозатрат.

ФОРМУЛА КОРИСНОЇ МОДЕЛІ

Автоматична система промивання молокопровідної лінії доїльних установок, яка містить бак, поплавок, датчик рівня мийного розчину, клапан циркуляції-зливу, клапан всмоктування рідини на молокопровід, трубопровід, електромагнітний клапан пуску холодної води, електромагнітний клапан пуску гарячої води, водонагрівач, електромагнітний клапан пуску концентрату мийного

UA 140923 U

- розчину, ємність, контрольний датчик температури, блок керування, яка **відрізняється** тим, що додатково забезпечена електромагнітними клапанами пуску повітря, датчиками вакуумметричного тиску, датчиками температури і фотодатчиками, що складаються із фотодіодів і фоторезисторів, які розміщені на молокопровідній лінії доїльних установок і приєднані засобами електричних проводів до блока керування.



Комп'ютерна верстка А. Крижанівський

Міністерство розвитку економіки, торгівлі та сільського господарства України,
вул. М. Грушевського, 12/2, м. Київ, 01008, Україна

ДП "Український інститут інтелектуальної власності", вул. Глазунова, 1, м. Київ – 42, 01601

Додаток М

ЗАТВЕРДЖУЮ

Ректор Вінницького національного
аграрного університету
Мазур Віктор Анатолійович

« 28 » лютого 2020 р.

ЗАТВЕРДЖУЮ

Директор ПП "АФ Батьківщина"
Беспалько Валерій Дмитрович

« 28 » лютого 2020 р.

А К Т про виробничу перевірку

Ми, що нижче підписалися, представник Вінницького національного аграрного університету асистент кафедри машини та обладнання сільськогосподарського виробництва Бабин Ігор Анатолійович, з однієї сторони, і представник ПП «Агрофірма Батьківщина» головний зоотехнік Сендик Г.І., з другої сторони, склали цей акт про те, що розроблена Бабином І. А. автоматична система промивання молокопровідної лінії доїльних установок проходила виробничу перевірку на доїльній установці з верхнім молокопроводом УДМ-100 «Брацлавчанка» з 13.01.2020 р. по 28.02.2020 р. Для проведення досліджень автомат промивки АП-03 (БУАП-03) було переоснащено згідно з розробленою конструктивно-технологічною схемою.

Виробнича перевірка проводилась для декількох режимів промивання:

1. Фактор А – режими повітряних інжекторів представлено у наступних варіантах: повітряні інжектори відключені; повітряні інжектори працюють із раціональними параметрами; повітряні інжектори працюють в адаптивному режимі.

2. Фактор В – режими гідроінжекторів представлені у наступних варіантах: гідроінжектори відключені; гідроінжектори працюють із раціональними параметрами.

3. Фактор С – тривалість промивання: 5 хв попереднього ополіскування, 15 хв основного промивання миючим розчином, 5 хв остаточного ополіскування; 5 хв попереднього ополіскування, 30 хв основного промивання миючим розчином, 5 хв остаточного ополіскування; 5 хв попереднього ополіскування, тривалість основного промивання миючим розчином визначається з фотодатчиків (адаптивний), 5 хв остаточного ополіскування.

Загальна кількість варіантів досліджень складала 18.

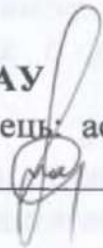
В якості критерію випробувань було прийнято якість молока, а саме кількість мезофільних аеробних і факультативно-анаеробних мікроорганізмів, після його проходження через молокопровідну систему доїльної установки. Кількість мезофільних аеробних і факультативно-анаеробних мікроорганізмів визначалася в сертифікованій лабораторії згідно ДСТУ ISO 4833:2006.

Також до системи водопостачання системи промивання було встановлено проточний лічильник для води NOVATOR ЛК-15Х з похибкою вимірювань ± 1 л. За допомогою зазначеного лічильника встановлювалися витрати води для кожного промивання.

Для оцінки енерговитрат доїльної установки під час промивання фіксувалися значення електролічильника трифазного NIK2303 AP3T.1000.M.11, який був встановлений перед всіма навантаженнями доїльної установки.

В результаті досліджень встановлені показники роботи системи промивання, які зведені в таблиці.

Режими повітряного інжектора (А)	Режими гідро-інжекторів (В)	Тривалість промивки (С)	Кількість мікроорганізмів, тис. КУО/см ³			Витрати води, л			Витрати електроенергії, кВт·год		
			1	2	3	1	2	3	1	2	3
Повітряний інжектор відключений	Гідро-інжектори відключені	5 хв/10 хв/5 хв	432	426	423	290	285	281	22,3	20,2	21,7
		5 хв/30 хв/5 хв	331	326	328	404	397	391	35,1	32,4	33,9
		Адаптивна	327	323	320	354	345	349	29,4	26,8	29,3
	Гідро-інжектори підключені	5 хв/10 хв/5 хв	400	397	395	324	317	317	24,3	21,8	23,8
		5 хв/30 хв/5 хв	315	310	310	455	446	445	38,1	34,9	37,4
		Адаптивна	314	307	309	401	391	391	32,2	29,0	31,5
Раціональні параметри	Гідро-інжектори відключені	5 хв/10 хв/5 хв	354	350	347	289	286	284	22,7	21,7	22,2
		5 хв/30 хв/5 хв	278	271	268	412	403	399	36,8	33,7	35,7
		Адаптивна	275	268	262	361	353	359	30,5	28,2	30,7
	Гідро-інжектори підключені	5 хв/10 хв/5 хв	332	327	330	330	323	318	25,3	22,6	24,1
		5 хв/30 хв/5 хв	258	254	255	455	452	445	39,1	37,5	38,0
		Адаптивна	261	255	256	404	398	399	32,2	30,4	31,9
Адаптивні параметри	Гідро-інжектори відключені	5 хв/10 хв/5 хв	344	337	339	275	266	262	23,2	20,1	22,1
		5 хв/30 хв/5 хв	273	264	263	373	367	368	34,3	32,5	34,0
		Адаптивна	263	257	261	330	324	320	29,4	27,0	28,5
	Гідро-інжектори підключені	5 хв/10 хв/5 хв	325	317	317	292	290	289	23,1	22,4	22,9
		5 хв/30 хв/5 хв	248	243	238	431	422	426	37,3	34,7	37,2
		Адаптивна	250	245	238	378	369	365	31,4	28,3	30,3

Від ВНАУ
Виконавець:  асистент кафедри МОСГВ
І. А. Бабин

Від ПП "АФ БАТЬКІВЩИНА"
Головний зоотехнік
 Сендик Г.І.

« 28 » лютого 2020 р.

« 28 » лютого 2020 р.

ЗАТВЕРДЖУЮРектор Вінницького національного
аграрного університету
Мазур Віктор Анатолійович



 «27» Лютого 2020р.
ЗАТВЕРДЖУЮДиректор
ПП "Радівське" по ВСГП
Пачевський Валентин
Анатолійович



 «27» Лютого 2020 р.

А К Т про виробничу перевірку

Ми, що нижче підписалися, представник Вінницького національного аграрного університету асистент кафедри машин та обладнання сільськогосподарського виробництва Бабин Ігор Анатолійович, з однієї сторони, і представник приватного підприємства "Радівське" по виробництву сільськогосподарської продукції головний інженер Бондар О.І., з другої сторони, склали цей акт про те, що розроблена Бабином І.А. автоматична система промивання молокопровідної лінії доїльних установок проходила виробничу перевірку на доїльній установці з нижнім молокопроводом УДЕ-16 "Ялинка" з 17.01.2020р. по 26.02.2020р. Для проведення досліджень автомат промивання АП-03 було переоснащено відповідно до розробленої конструктивно-технологічної схеми. Виробнича перевірка проводилась для декількох режимів промивання. Фактор А – режими повітряних інжекторів представлено у наступних варіантах: повітряні інжектори відключені; повітряні інжектори працюють із раціональними параметрами; повітряні інжектори працюють в адаптивному режимі. Фактор В – режими гідроінжекторів представлені у наступних варіантах: гідроінжектори відключені; гідроінжектори працюють із раціональними параметрами. Фактор С – тривалість промивання: 5хв попереднього ополіскування, 15хв основного промивання миючим розчином, 5хв остаточного ополіскування; 5хв попереднього ополіскування, 30хв основного промивання миючим розчином, 5хв остаточного ополіскування; 5хв попереднього ополіскування, тривалість основного промивання мийним розчином визначається з фотодатчиків (адаптивний), 5хв остаточного ополіскування. Загальна кількість варіантів досліджень становила 18.

За критерій випробувань було прийнято якість молока, а саме кількість мезофільних аеробних і факультативно-анаеробних мікроорганізмів, після його проходження через молокопровідну систему доїльної установки. Кількість мезофільних аеробних і факультативно-анаеробних мікроорганізмів визначалася у сертифікованій лабораторії згідно ДСТУ ISO 4833:2006.

До системи водопостачання системи промивання було встановлено проточний лічильник для води NOVATOR ЛК-15Х з похибкою вимірювань $\pm 1\%$. За допомогою зазначеного лічильника визначались витрати води для кожного промивання.

Для оцінки енерговитрат доїльної установки під час промивання фіксувалися значення трифазного електролічильника НІК2303 АРЗТ.1000.М.11, який був встановлений перед усіма навантаженнями доїльної установки.

В результаті досліджень встановлені показники роботи системи промивання, які зведені в таблиці.

Режими повітряного інжектора (А)	Режими гідро-інжекторів (В)	Тривалість промивання (С)	Кількість мікроорганізмів, тис. КУО/см ³			Витрати води, л			Витрати електроенергії, кВт·год		
			1	2	3	1	2	3	1	2	3
Повітряний інжектор відключений	Гідро-інжектори відключені	5 хв/10 хв/5 хв	198	193	186	200	195	191	14,4	12,3	13,8
		5 хв/30 хв/5 хв	138	135	130	285	276	277	22,4	19,7	21,2
		Адаптивна	132	126	127	227	222	215	19,3	16,7	19,2
	Гідро-інжектори підключені	5 хв/10 хв/5 хв	169	166	167	222	215	212	16,4	13,9	15,9
		5 хв/30 хв/5 хв	121	116	113	319	311	307	25,4	22,2	24,7
		Адаптивна	116	111	106	255	246	242	22,1	18,9	21,4
Раціональні параметри	Гідро-інжектори відключені	5 хв/10 хв/5 хв	153	148	148	199	195	196	16,5	15,1	16,1
		5 хв/30 хв/5 хв	111	103	103	292	283	282	26,4	23,3	25,3
		Адаптивна	108	99	100	228	224	215	22,2	19,9	22,4
	Гідро-інжектори підключені	5 хв/10 хв/5 хв	130	127	123	227	218	220	18,9	16,2	17,7
		5 хв/30 хв/5 хв	91	89	86	322	315	319	28,8	27,2	27,7
		Адаптивна	90	85	82	254	249	246	23,9	22,1	23,6
Адаптивні параметри	Гідро-інжектори відключені	5 хв/10 хв/5 хв	144	139	134	192	182	182	15,1	12,0	14,0
		5 хв/30 хв/5 хв	108	99	95	261	256	253	20,7	18,9	20,4
		Адаптивна	109	95	99	213	205	205	18,3	15,9	17,4
	Гідро-інжектори підключені	5 хв/10 хв/5 хв	125	118	115	198	196	196	14,4	13,7	14,2
		5 хв/30 хв/5 хв	88	81	83	293	288	281	23,2	20,6	23,1
		Адаптивна	87	78	82	242	232	232	20,0	16,9	18,9

Від ВНАУ
Виконавець: асистент кафедри
МОСГВ

І. А. Бабин

« 27 » лютого 2020 р.

Від ПП "Радівське" по ВСГП
Головний інженер

Бондар О.І.

« 27 » лютого 2020 р.

Додаток П

Таблиця П.1 – Вплив режимів роботи розробленої системи промивання на кількість мезофільних аеробних і факультативно-анаеробних мікроорганізмів в молоці

Тип дойльної установки	Режими повітряного інжектора (А)	Режими гідро-інжекторів (В)	Тривалість промивання (С)	Кількість мезофільних аеробних і факультативно-анаеробних мікроорганізмів, тис. КУО/см ³			
				1	2	3	Середнє
УДЕ-16 Ялинка	Повітряний інжектор відключений	Гідро-інжектори відключені	5 хв/10 хв/5 хв	198	193	186	192
			5 хв/30 хв/5 хв	138	135	130	134
			Адаптивна	132	126	127	128
		Гідро-інжектори підключені	5 хв/10 хв/5 хв	169	166	167	167
			5 хв/30 хв/5 хв	121	116	113	117
			Адаптивна	116	111	106	111
	Раціональні параметри	Гідро-інжектори відключені	5 хв/10 хв/5 хв	153	148	148	150
			5 хв/30 хв/5 хв	111	103	103	106
			Адаптивна	108	99	100	102
		Гідро-інжектори підключені	5 хв/10 хв/5 хв	130	127	123	127
			5 хв/30 хв/5 хв	91	89	86	89
			Адаптивна	90	85	82	86
	Адаптивні параметри	Гідро-інжектори відключені	5 хв/10 хв/5 хв	144	139	134	139
			5 хв/30 хв/5 хв	108	99	95	101
			Адаптивна	109	95	99	101
		Гідро-інжектори підключені	5 хв/10 хв/5 хв	125	118	115	119
			5 хв/30 хв/5 хв	88	81	83	84
			Адаптивна	87	78	82	82
УДМ-100 «Брацлавчанка»	Повітряний інжектор відключений	Гідро-інжектори відключені	5 хв/10 хв/5 хв	432	426	423	427
			5 хв/30 хв/5 хв	331	326	328	328
			Адаптивна	327	323	320	323
		Гідро-інжектори підключені	5 хв/10 хв/5 хв	400	397	395	397
			5 хв/30 хв/5 хв	315	310	310	312
			Адаптивна	314	307	309	310
	Раціональні параметри	Гідро-інжектори відключені	5 хв/10 хв/5 хв	354	350	347	350
			5 хв/30 хв/5 хв	278	271	268	272
			Адаптивна	275	268	262	268
		Гідро-інжектори підключені	5 хв/10 хв/5 хв	332	327	330	330
			5 хв/30 хв/5 хв	258	254	255	256
			Адаптивна	261	255	256	257
	Адаптивні параметри	Гідро-інжектори відключені	5 хв/10 хв/5 хв	344	337	339	340
			5 хв/30 хв/5 хв	273	264	263	267
			Адаптивна	263	257	261	260
		Гідро-інжектори підключені	5 хв/10 хв/5 хв	325	317	317	320
			5 хв/30 хв/5 хв	248	243	238	243
			Адаптивна	250	245	238	244

Таблиця П.2 – Вплив режимів роботи розробленої системи промивання на витрати води

Тип доїльної установки	Режими повітряного інжектора (А)	Режими гідро-інжекторів (В)	Тривалість промивання (С)	Витрати води, л			
				1	2	3	Середнє
УДЕ-16 Ялинка	Повітряний інжектор відключений	Гідро-інжектори відключені	5 хв/10 хв/5 хв	200	195	191	195
			5 хв/30 хв/5 хв	285	276	277	279
			Адаптивна	227	222	215	221
		Гідро-інжектори підключені	5 хв/10 хв/5 хв	222	215	212	216
			5 хв/30 хв/5 хв	319	311	307	312
			Адаптивна	255	246	242	248
	Раціональні параметри	Гідро-інжектори відключені	5 хв/10 хв/5 хв	199	195	196	197
			5 хв/30 хв/5 хв	292	283	282	286
			Адаптивна	228	224	215	222
		Гідро-інжектори підключені	5 хв/10 хв/5 хв	227	218	220	222
			5 хв/30 хв/5 хв	322	315	319	319
			Адаптивна	254	249	246	250
	Адаптивні параметри	Гідро-інжектори відключені	5 хв/10 хв/5 хв	192	182	182	185
			5 хв/30 хв/5 хв	261	256	253	257
			Адаптивна	213	205	205	208
Гідро-інжектори підключені		5 хв/10 хв/5 хв	198	196	196	197	
		5 хв/30 хв/5 хв	293	288	281	287	
		Адаптивна	242	232	232	235	
УДМ-100 «Брацлавчанка»	Повітряний інжектор відключений	Гідро-інжектори відключені	5 хв/10 хв/5 хв	290	285	281	285
			5 хв/30 хв/5 хв	404	397	391	397
			Адаптивна	354	345	349	349
		Гідро-інжектори підключені	5 хв/10 хв/5 хв	324	317	317	319
			5 хв/30 хв/5 хв	455	446	445	449
			Адаптивна	401	391	391	394
	Раціональні параметри	Гідро-інжектори відключені	5 хв/10 хв/5 хв	289	286	284	286
			5 хв/30 хв/5 хв	412	403	399	405
			Адаптивна	361	353	359	358
		Гідро-інжектори підключені	5 хв/10 хв/5 хв	330	323	318	324
			5 хв/30 хв/5 хв	455	452	445	451
			Адаптивна	404	398	399	400
	Адаптивні параметри	Гідро-інжектори відключені	5 хв/10 хв/5 хв	275	266	262	268
			5 хв/30 хв/5 хв	373	367	368	369
			Адаптивна	330	324	320	325
Гідро-інжектори підключені		5 хв/10 хв/5 хв	292	290	289	290	
		5 хв/30 хв/5 хв	431	422	426	426	
		Адаптивна	378	369	365	371	

Таблиця П.3 – Вплив режимів роботи розробленої системи промивання на витрати електроенергії

Тип доїльної установки	Режими повітряного інжектора (А)	Режими гідро-інжекторів (В)	Тривалість промивання (С)	Витрати електроенергії, кВт·год			
				1	2	3	Середнє
УДЕ-16 Ялинка	Повітряний інжектор відключений	Гідро-інжектори відключені	5 хв/10 хв/5 хв	14,4	12,3	13,8	13,5
			5 хв/30 хв/5 хв	22,4	19,7	21,2	21,1
			Адаптивна	19,3	16,7	19,2	18,4
		Гідро-інжектори підключені	5 хв/10 хв/5 хв	16,4	13,9	15,9	15,4
			5 хв/30 хв/5 хв	25,4	22,2	24,7	24,1
			Адаптивна	22,1	18,9	21,4	20,8
	Раціональні параметри	Гідро-інжектори відключені	5 хв/10 хв/5 хв	16,5	15,1	16,1	15,9
			5 хв/30 хв/5 хв	26,4	23,3	25,3	25,0
			Адаптивна	22,2	19,9	22,4	21,5
		Гідро-інжектори підключені	5 хв/10 хв/5 хв	18,9	16,2	17,7	17,6
			5 хв/30 хв/5 хв	28,8	27,2	27,7	27,9
			Адаптивна	23,9	22,1	23,6	23,2
	Адаптивні параметри	Гідро-інжектори відключені	5 хв/10 хв/5 хв	15,1	12,0	14,0	13,7
			5 хв/30 хв/5 хв	20,7	18,9	20,4	20,0
			Адаптивна	18,3	15,9	17,4	17,2
		Гідро-інжектори підключені	5 хв/10 хв/5 хв	14,4	13,7	14,2	14,1
			5 хв/30 хв/5 хв	23,2	20,6	23,1	22,3
			Адаптивна	20,0	16,9	18,9	18,6
УДМ-100 «Брацлавчанка»	Повітряний інжектор відключений	Гідро-інжектори відключені	5 хв/10 хв/5 хв	22,3	20,2	21,7	21,4
			5 хв/30 хв/5 хв	35,1	32,4	33,9	33,8
			Адаптивна	29,4	26,8	29,3	28,5
		Гідро-інжектори підключені	5 хв/10 хв/5 хв	24,3	21,8	23,8	23,3
			5 хв/30 хв/5 хв	38,1	34,9	37,4	36,8
			Адаптивна	32,2	29,0	31,5	30,9
	Раціональні параметри	Гідро-інжектори відключені	5 хв/10 хв/5 хв	22,7	21,7	22,2	22,2
			5 хв/30 хв/5 хв	36,8	33,7	35,7	35,4
			Адаптивна	30,5	28,2	30,7	29,8
		Гідро-інжектори підключені	5 хв/10 хв/5 хв	25,3	22,6	24,1	24,0
			5 хв/30 хв/5 хв	39,1	37,5	38,0	38,2
			Адаптивна	32,2	30,4	31,9	31,5
	Адаптивні параметри	Гідро-інжектори відключені	5 хв/10 хв/5 хв	23,2	20,1	22,1	21,8
			5 хв/30 хв/5 хв	34,3	32,5	34,0	33,6
			Адаптивна	29,4	27,0	28,5	28,3
		Гідро-інжектори підключені	5 хв/10 хв/5 хв	23,1	22,4	22,9	22,8
			5 хв/30 хв/5 хв	37,3	34,7	37,2	36,4
			Адаптивна	31,4	28,3	30,3	30,0

Таблиця П.4 – Статистична обробка даних впливу режимів роботи розробленої системи промивання на кількість мезофільних аеробних і факультативно-анаеробних мікроорганізмів в молоці

Тип	Фактор	A	B	C	AB	AC	BC	ABC	Помилка
УДЕ-16 Ялинка	F	358,80	243,63	626,05	0,08	10,95	2,14	0,28	-
	F ₀₅	3,26	4,11	3,26	3,26	2,63	3,26	2,63	-
	HP ₀₅	13,5	11,0	13,5	19,1	23,4	19,1	33,1	-
	%	31,22	10,60	54,47	0,01	1,91	0,19	0,05	1,57
УДМ-100 «Брацлав- чанка»	F	1546,47	272,82	2388,76	1,27	12,16	7,20	1,83	-
	F ₀₅	3,26	4,11	3,26	3,26	2,63	3,26	2,63	-
	HP ₀₅	11,4	9,3	11,4	16,2	19,8	16,2	28,1	-
	%	37,48	3,31	57,89	0,03	0,59	0,17	0,09	0,44

Таблиця П.5 – Статистична обробка даних впливу режимів роботи розробленої системи промивання на витрати води

Тип	Фактор	A	B	C	AB	AC	BC	ABC	Помилка
УДЕ-16 Ялинка	F	89,92	374,04	1449,98	1,31	4,27	7,70	0,82	-
	F ₀₅	3,26	4,11	3,26	3,26	2,63	3,26	2,63	-
	HP ₀₅	16,9098	13,8068	16,9098	23,914	29,288	23,914	41,420	-
	%	5,10	10,60	82,19	0,07	0,48	0,44	0,09	1,02
УДМ-100 «Брацлав- чанка»	F	181,52	1015,21	2747,24	0,20	0,56	19,44	2,89	-
	F ₀₅	3,26	4,11	3,26	3,26	2,63	3,26	2,63	-
	HP ₀₅	16,2713	13,2855	16,2713	23,011	28,182	23,011	39,856	-
	%	5,21	14,58	78,92	0,01	0,03	0,56	0,17	0,52

Таблиця П.6 – Статистична обробка даних впливу режимів роботи розробленої системи промивання на витрати електроенергії

Тип	Фактор	A	B	C	AB	AC	BC	ABC	Помилка
УДЕ-16 Ялинка	F	48,91	30,94	187,55	0,77	1,44	1,26	0,08	-
	F ₀₅	3,26	4,11	3,26	3,26	2,63	3,26	2,63	-
	HP ₀₅	1,14	0,93	1,14	1,62	1,98	1,62	2,81	-
	%	17,79	5,63	68,20	0,28	1,05	0,46	0,06	6,55
УДМ-100 «Брацлав- чанка»	F	5,50	35,72	459,50	0,27	0,30	1,24	0,06	-
	F ₀₅	3,26	4,11	3,26	3,26	2,63	3,26	2,63	-
	HP ₀₅	1,13	0,92	1,13	1,60	1,97	1,60	2,78	-
	%	1,09	3,55	91,34	0,05	0,12	0,25	0,02	3,58

Додаток Р

Таблиця Р.1 – Техніко-економічний розрахунок розробленої системи промивання для доїльної установки УДМ-100 «Брацлавчанка» (Верхній молокопровід)

Режими повітряного інжектору (А)	Режими гідро-інжекторів (В)	Час промивання (С)	Іагунок молока	Додаковий річний економічний ефект, грн.	Витрати води за рік, грн.	Витрати електроенергії за рік, грн.	Витрати на капітальний, поточний ремонт і технічне обслуговування, грн.	Витрати на амортизацію, грн.	Загальні витрати, грн.	Питомі загальні витрати, грн./кг	Економічний ефект, грн.	Питомий економічний ефект, грн./кг	
Повітряний інжектор відключений	Гідро-інжектори відключені	5/15/5	П	0	3839	29740	15400	16500	65478	0,13	0	0,00	
		5/30/5	П	0	5347	46834	15400	16500	84081	0,17	-18603	-0,04	
		Адаптивний	П	0	4701	39548	16800	18000	79048	0,16	-13570	-0,03	
	Гідро-інжектори підключені	5/15/5	П	0	4299	32340	16100	17250	69989	0,14	-4511	-0,01	
		5/30/5	П	0	6042	50995	16100	17250	90387	0,18	-24909	-0,05	
		Адаптивний	П	0	5312	42877	17500	18750	84438	0,17	-18960	-0,04	
	Раціональні параметри	Гідро-інжектори відключені	5/15/5	П	0	3858	30815	16800	18000	69472	0,14	-3994	-0,01
			5/30/5	В	70000	5454	49054	16800	18000	89308	0,18	46171	0,09
			Адаптивний	В	70000	4818	41323	18200	19500	83841	0,17	51637	0,10
Гідро-інжектори підключені		5/15/5	П	0	4364	33300	17500	18750	73913	0,15	-8435	-0,02	
		5/30/5	В	70000	6072	53030	17500	18750	95352	0,19	40126	0,08	
		Адаптивний	В	70000	5391	43672	18900	20250	88213	0,18	47265	0,09	
Адаптивні параметри	Гідро-інжектори відключені	5/15/5	П	0	3608	30254	16800	18000	68662	0,14	-3184	-0,01	
		5/30/5	В	70000	4973	46642	16800	18000	86415	0,17	49063	0,10	
		Адаптивний	В	70000	4371	39299	18200	19500	81370	0,16	54108	0,11	
	Гідро-інжектори підключені	5/15/5	П	0	3912	31648	17500	18750	71811	0,14	-6333	-0,01	
		5/30/5	В	70000	5740	50448	17500	18750	92438	0,18	43041	0,09	
		Адаптивний	В	70000	4993	41544	18900	20250	85687	0,17	49791	0,10	

Таблиця Р.2 – Техніко-економічний розрахунок розробленої системи промивання для доїльної установки УДЕ-16 Ялинка (Нижній молокопровід)

Режими повітряного інжектору (F)	Режими гідро-інжекторів (B)	Час промивання (C)	Гаунок молока	Додатковий річний економічний ефект, грн.	Витрати води за рік, грн.	Витрати електроенергії за рік, грн.	Витрати на капітальний, поточний ремонт і технічне обслуговування, грн.	Витрати на амортизацію, грн.	Загальні витрати, грн.	Питоми загальні витрати, грн./кг	Економічний ефект, грн.	Питомий економічний ефект, грн./кг	
Повітряний інжектор відключений	Гідро-інжектори відключені	5/15/5	B	0	2626	18759	15400	16500	53286	0,11	0	0,00	
		5/30/5	B	0	3758	29266	15400	16500	64923	0,13	-11638	-0,02	
		Адаптивний	B	0	2977	25493	16800	18000	63270	0,13	-9984	-0,02	
	Гідро-інжектори підключені	5/15/5	B	0	2915	21360	16100	17250	57625	0,12	-4340	-0,01	
		5/30/5	B	0	4209	33427	16100	17250	70985	0,14	-17700	-0,04	
		Адаптивний	B	0	3334	28822	17500	18750	68406	0,14	-15120	-0,03	
	Раціональні параметри	Гідро-інжектори відключені	5/15/5	B	0	2653	21984	16800	18000	59437	0,12	-6151	-0,01
			5/30/5	B	0	3852	34675	16800	18000	73327	0,15	-20041	-0,04
			Адаптивний	B	0	2991	29821	18200	19500	70512	0,14	-17226	-0,03
Гідро-інжектори підключені		5/15/5	B	0	2988	24469	17500	18750	63707	0,13	-10422	-0,02	
		5/30/5	E	195000	4293	38651	17500	18750	79194	0,16	169092	0,34	
		Адаптивний	E	195000	3367	32169	18900	20250	74686	0,15	173599	0,35	
Адаптивні параметри	Гідро-інжектори відключені	5/15/5	B	0	2495	18962	16800	18000	56257	0,11	-2971	-0,01	
		5/30/5	B	0	3457	27782	16800	18000	66039	0,13	-12753	-0,03	
		Адаптивний	B	0	2798	23898	18200	19500	64396	0,13	-11110	-0,02	
	Гідро-інжектори підключені	5/15/5	B	0	2653	19589	17500	18750	58492	0,12	-5206	-0,01	
		5/30/5	E	195000	3872	30990	17500	18750	71112	0,14	177173	0,35	
		Адаптивний	E	195000	3167	25791	18900	20250	68108	0,14	180178	0,36	

Додаток С

ЗАТВЕРДЖУЮ

Ректор Вінницького національного аграрного університету
Мазур Віктор Анатолійович

ЗАТВЕРДЖУЮ

Генеральний директор
ТДВ «Брацлав»
К.Г.Блідченко

« 19 » лютого 2020 р.

« 19 » лютого 2020 р.

А К Т

про використання результатів дослідження

Ми, що нижче підписалися, представник Вінницького національного аграрного університету, асистент кафедри машин та обладнання сільськогосподарського виробництва Бабин Ігор Анатолійович, з однієї сторони, і представник ТДВ «Брацлав» Дріго Валентин Олексійович, з другої сторони, склали цей акт про те, що при проведенні науково-дослідної роботи «Педагогічні та технічні основи розвитку наукової діяльності з проектування сільськогосподарських машин й технологічних процесів» (Державний реєстраційний № 0117U007539) прийняті та використані результати досліджень, що одержані асистентом ВНАУ Бабином Ігорем Анатолійовичем по розробці та створенню автоматизованої системи промивання доїльної установки із повітряними та гідро-інжекторами і фотодатчиками визначення забрудненості молокопровідної лінії.

Розроблена конструкторська і технічна документація автоматизованої системи промивання доїльної установки та її елементів прийнята та використана для проектування нових моделей доїльних установок, що виробляються і реалізуються на ТДВ «Брацлав».

Від ВНАУ

Асистент кафедри машин та обладнання
сільськогосподарського виробництва

ВНАУ

_____ І.А. Бабин

« 19 » лютого 20__ р.

Від ТДВ «Брацлав»

Головний конструктор
ТДВ «Брацлав»

_____ В.О. Дріго

« 19 » лютого 20__ р.

ЗАТВЕРДЖУЮ
 Ректор Вінницького національного
 аграрного університету



[Signature]
 В.А. Мазур
 « 4 » Березня 2020р.

ЗАТВЕРДЖУЮ
 Директор Приватного
 підприємства «Агромех плюс»



[Signature]
 Б.Т. Потеруха
 « 2 » Березня 2020р.

А К Т
про впровадження/використання результатів
науково-технічної роботи

Даним актом стверджується, що результати науково-технічної роботи, яка була виконана асистентом кафедри машин та обладнання сільськогосподарського виробництва Бабином Ігорем Анатолійовичем впроваджені і використані на виробництві Приватного підприємства «Агромех плюс» (ЄДРПОУ 35740275, м. Дніпро, Донецьке шосе, буд. 7, кв. 59).

Приватним підприємством «Агромех Плюс» в особі заступника директора Дніпровського Г. І. отримано науково-методичні рекомендації щодо режимних параметрів роботи автоматичної система промивки молокопровідної лінії доїльних установок із повітряним і гідро- інжекторами, які розроблені асистентом кафедри машин та обладнання сільськогосподарського виробництва Бабином Ігорем Анатолійовичем.

Отримані науково-методичні рекомендації використовуються при монтажі, налагодженні, технічному обслуговуванні і ремонті доїльних установок виробництва GEA Farm Technologies.

Підписаний акт не встановлює фінансових зобов'язань між сторонами. Фінансові-правові умови використання науково-технічної продукції обумовлюються двосторонніми договорами.

Від ВНАУ
 Асистент кафедри машин та
 обладнання сільськогосподарського
 виробництва

[Signature]
 І.А. Бабин

« 2 » Березня 2020р.

Від ПП «Агромех плюс»
 Заступник директора



[Signature]
 Дніпровський Г.І.

« 2 » Березня 2020р.

Додаток Т



МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ВІННИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

вул. Сонячна, 3, м. Вінниця, 21008, тел. (0432) 46-00-03,
email: office@vsau.org, rector@vsau.org, код ЄДРПОУ 00497236

10 березня 2020 р. № 01.1-60-457
на № _____ від _____

ДОВІДКА

про впровадження результатів наукових досліджень
дисертаційної роботи Бабина Ігоря Анатолійовича
на тему: «Підвищення ефективності роботи системи
промивання доїльних установок»

Повідомляємо, що наукові розробки Бабина Ігоря Анатолійовича вказаною темою кандидатської дисертації мають практичну цінність, що зумовило їх впровадження у навчально-методичний процес та наукову роботу кафедри машин та обладнання сільськогосподарського виробництва інженерно-технологічного факультету.

Положення дисертаційної роботи використовується при викладанні окремих частин навчальних дисциплін «Машини та обладнання для тваринництва», «Машини і обладнання та їх використання в тваринництві» «Технічне обслуговування машин та обладнання».

Довідка видана для представлення у спеціалізовану вчену раду за місцем захисту І.А. Бабином дисертаційної роботи на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук.

Розглянуто та затверджено на засіданні науково-методичної комісії Вінницького національного аграрного університету від 27 лютого 2020 року протокол №9.

Ректор



В.А. Мазур

№ 0000551

Вик.: Ромигайло І.Ю.

Додаток У

Список публікацій здобувача за темою дисертації

Статті у наукових фахових виданнях України

1. Бабин І. А. Дослідження метрологічних характеристик пристрою для вимірювання вакуумметричних параметрів лінії промивання доїльної установки. *Всеукраїнський науково-технічний журнал «Техніка, енергетика, транспорт АПК»*. Вінниця, 2018. 3 (102). С. 5-10.

2. Бабин І. А. Фізико-математичний апарат руху двофазного мийного розчину по молокопровідній лінії. *Всеукраїнський науково-технічний журнал «Техніка, енергетика, транспорт АПК»*. Вінниця, 2019. 1 (104). С. 5-12.

3. Пришляк В. М., Бабин І. А. Результати досліджень фотодатчика визначення забрудненості молокопровідної лінії. Загальнодержавний міжвідомчий науково-технічний збірник. *Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин*, вип. 49. Кропивницький: ЦНТУ, 2019. С. 206-212. *(Особистий внесок здобувача: розроблено фотодатчик визначення забрудненості молокопровідної лінії)*

4. Бабин І. А. Обґрунтування режимів роботи системи промивання молокопроводів доїльної установки. *Всеукраїнський науково-технічний журнал «Техніка, енергетика, транспорт АПК»*. Вінниця, 2019. 4 (107). С. 89-99.

5. Пришляк В. М., Бабин І. А., Гунько І. В. Моделювання режимів роботи системи промивання молокопроводів молочно-доїльного обладнання із повітряним інжектором. *Вісник аграрної науки Причорномор'я*, 2020. № 1(105). С. 102-110. *(Особистий внесок здобувача: проведено чисельне моделювання і узагальнення результатів)*

6. Гунько І. В., Бабин І. А., Пришляк В. М. Експериментальні дослідження режимів роботи повітряного інжектора системи промивання молокопроводів доїльної установки. *Наукові горизонти. Scientific Horizons*.

Житомир, 2020. № 03 (88). С. 44-53. *(Особистий внесок здобувача: проведені експериментальні дослідження і узагальнені результати)*

Статті у наукових виданнях, включених до міжнародних наукометричних баз

7. Pryshliak Viktor, Babyn Igor. Justification of the modes of the milk washing system of the milking installation. *ТЕКА. Quarterly journal of agri-food industry*, 2019. Vol. 19. No. 4. P. 5-12. *(Особистий внесок здобувача: проведені дослідження і узагальнені результати)*

Патенти України

8. Бабин І. А., Яропуд В. М., Грицун А. В., Пришляк В. М. (2020). Патент України на корисну модель 140923, МПК А01J 7/02 (2006.01). Автоматична система промивання молокопровідної лінії доїльних установок. Заявник: Вінницький національний аграрний університет, № u201909823. Заявл. 16.09.2019. Опубл. 10.03.2020, бюл. № 5. *(Автором запропоновано використовувати фотодатчики і автоматичну систему адаптації системи промивання молокопровідної лінії доїльних установок)*

Матеріали конференцій і тези

9. Бабин Ігор. Методика моделювання процесу переміщення двофазного мийного розчину по молокопровідній лінії. Інноваційні технології та інтенсифікація розвитку національного виробництва: матеріали V міжнар. наук.-практ. конф. 30 травня 2019 р. Тернопіль: Крок, 2019. С. 90-91.

10. Бабин І. Теоретичні дослідження процесу промивання молокопровідної лінії доїльної установки. Тези наукових доповідей XIX Міжнародної наукової конференції «Науково-технічні засади розробки,

випробування та прогнозування сільськогосподарської техніки і технологій», присвяченої 85-річчю від дня народження академіка Л. В. Погорілого та 150-річчю від дня народження професора К. Г. Шиндлера, 13 вересня 2019 року, УкрНДПВТ ім. Л. Погорілого; Дослідницьке, 2019. С. 13-14.

11. Бабин І. А. Моделювання режимів роботи системи промивання молокопроводів молочно-доїльного обладнання із повітряним інжектором. Сучасні проблеми землеробської механіки: матеріали XX Міжнародної наукової конференції, присвяченої 119-й річниці з дня народження академіка Петра Мефодійовича Василенка, 17-19 жовтня, 2019 р. Миколаїв: МНАУ, 2019. С. 87-89.

12. Бабин І. А. Дослідження явища адгезії між відкладеннями і поверхнею молокопровідної лінії. VIII Всеукраїнська науково-технічна конференція «Технічний прогрес у тваринництві та кормовиробництві». смт. Глеваха: ННЦ «ІМЕСГ». 2-27 грудня 2019 р. Глеваха-Київ, 2019. С. 7-9.