

ДНІПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Інженерно-технологічний факультет

Кафедра інжинірингу технічних систем

Пояснювальна записка

до дипломної роботи

освітнього ступеня «Магістр» на тему:

Обґрунтування параметрів вакуумного

насоса доїльної установки

Виконав: студент 2 курсу, групи МГАІ-3-22

за спеціальністю 208 «Агроінженерія»

_____ Сівцов Микола Анатолійович

Керівник: _____ Івлєв Віталій Володимирович

Рецензент: _____ Астіон Василь Миколайович

Дніпро 2023

**ДНІПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ
АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**
Інженерно-технологічний факультет

Кафедра інжинірингу технічних систем
Освітній ступінь: «Магістр»
Спеціальність: 208 «Агроінженерія»

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри

ІТС

(назва кафедри)

доцент

(вчене звання)

Дудін В.Ю.

(підпис)

(прізвище, ініціали)

«09» листопада 2023 р.

З А В Д А Н Н Я
НА ДИПЛОМНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Сівцову Миколі Анатолійовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Обґрунтування параметрів вакуумного насоса доїльної установки керівник роботи Івлєв Віталій Володимирович, к.т.н.

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від
«09» листопада 2023 року № 3422

2. Строк подання студентом 04.12.2023 р.

3. Вихідні дані до роботи Аналіз стану питання процесів та обладнання для доїння корів, зокрема вакуумних насосів. Патентний пошук, аналіз літературних джерел, останніх досліджень з обраної тематики.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1. Стан питання та вибір напрямків досліджень. 2. Дослідження факторів, які впливають на експлуатацію вакуумного насоса. 3. Результати стендових випробувань вакуумного насоса. 4. Охорона праці. 5. Еко Техніко-економічна оцінка удосконаленого насоса. Загальні висновки. Бібліографія.

5. Перелік демонстраційного матеріалу

1. Мета і задачі досліджень. Аналіз (2 аркуші, А4). 2. Теоретичні дослідження (2 аркуші, А4). 3. Експериментальні дослідження (4 аркуші, А4). 4. Охорона праці (1 аркуш, А4). 5. Економічні показники (1 аркуш, А4). 6. Висновки (1 аркуш, А4)

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1-5	Івлєв В.В., доцент		
Нормоконтроль	Івлєв В.В., доцент		

7. Дата видачі завдання: 09.11.2023 р._____.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналітичний (оглядовий)	до 17.11.2023 р.	
2	Теоретичний	до 17.11.2023 р.	
3	Експериментальний	до 17.11.2023 р.	
4	Охорона праці	до 17.11.2023 р.	
5	Економічний	до 25.11.2023 р.	
6	Демонстраційна частина	до 04.12.2023 р.	

Студент

(підпис)

Сівцов М.А.

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

(підпис)

Івлєв В.В.

(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Сівцов М.А. Обґрунтування параметрів вакуумного насоса доїльної установки /Випускна кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня «магістр» за спеціальністю 208 «Агроінженерія» (спеціалізація «Механізація тваринництва»). – ДДАЕУ, Дніпро, 2023.

Робота включає в себе 5 розділів, вступ, висновки та пропозиції до проекту бібліографічний список, зміст. В першому розділі «Стан питання та вибір напрямків досліджень» приведені огляд технічних засобів забезпечення процесу доїння корів в приватних господарствах, зоотехнічні вимоги та виконано їх аналіз. Другий розділ - дослідження факторів, які впливають на експлуатацію вакуумного насоса - включає в себе питання теоретичного дослідження основних факторів, які впливають на ефективність експлуатації вакуумного насоса. В третьому розділі приведено методика та результати експериментальних досліджень вакуумного насоса та запропоновано оптимізацію режимних параметрів. Частина з охорони праці, розглядає питання по удосконаленню організаційної та технічної сторони охорони праці при роботі з удосконаленою установкою. Розділ 5 – техніко-економічна оцінка прийнятих рішень.

Ключові слова: *доїльна установка, вакууметричний тиск, вакуумний насос, пластина*

ЗМІСТ

Вступ	7
1 Стан питання та вибір напрямків досліджень	9
1.1 Актуальність питання	9
1.2 Фізіологічні передумови та зоотехнічні вимоги до процесу машинного доїння	11
1.3 Порівняльний аналіз індивідуальних доїльних установок	17
1.3 Мета і задачі досліджень	26
2 Дослідження факторів, які впливають на експлуатацію вакуумного насоса	27
2.1 Основні теоретичні положення	27
2.2 Фактори, які впливають на робочий процес вакуумного насоса	31
2.3 Теоретичні дослідження впливу режимних параметрів	34
2.4 Висновки	39
3 Результати стендових випробувань вакуумного насоса	40
3.1 Матеріальне забезпечення	40
3.2 Постановка експерименту	41
3.3 Результати досліджень	47
3.4 Аналіз проведених досліджень	54
3.5 Оптимізація режимних параметрів вакуумного насоса	57
3.6 Висновки	59
4 ОХОРОНА ПРАЦІ	60

4.1 Загальні вимоги	60
4.2 Проект інструкції з охорони праці оператора машинного доїння	62
4.3 Порядок дій під час надзвичайної ситуації	64
4.4 Висновки	65
5 Техніко-економічна оцінка удосконаленого насоса	66
5.1 Вихідні дані	66
5.2 Розрахунок економічної ефективності	67
5.3 Висновки	72
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	73
БІБЛІОГРАФІЯ	75
ДОДАТКИ	

Вступ

У сільському господарстві велику роль грає галузь тваринництва. У загальному обсязі виробленої продукції сільського господарства тваринництво займає близько 50%. У зв'язку з цим, зростання виробництва продукції тваринництва та її якість безпосередньо залежать від рівня загальної механізації та автоматизації виробничих процесів.

У підвищенні обсягів виробництва молока значне місце відводиться вдосконаленню машинного доїння корів. В даний час більша частина його виробляється малими господарськими структурами, сімейними та особистими підсобними господарствами.

В найближчому майбутньому їх значимість у молочному тваринництві залишиться досить високою. Однак у малих господарських формуваннях існує низка проблем, серед яких недостатня механізація машинного доїння корів та засобів створення вакууму в них. Стабільність рівня вакууму в технологічних лініях доїльних установок різних конструкцій визначає ефективність роботи доїльного обладнання та процесу машинного доїння в цілому.

Існуючі малогабаритні доїльні установки для ферм таких господарств оснащені в основному ротаційними пластинчастими вакуумними насосами, що мають обмежений ресурс роботи через недоліки принципу роботи і створюють суттєвий шум при доїнні.

У зв'язку з цим дослідження та розробки з використання у машинному доїнні малогабаритних вакуумних насосів, що забезпечують більш стабільний вакуумний режим доїльних установках, видаються досить актуальними.

Аналіз досліджень вітчизняних та зарубіжних вчених у галузі машинного доїння корів показує, що навіть мале порушення вакуумного режиму доїльного обладнання, знижує їх продуктивність і якість молока, а також може призводити до зростання маститних захворювань. Саме тому багато вчених, в результаті досліджень вакуумних систем, рекомендують подальше вдосконалення їх конструкцій, необхідність підвищення ефективності та надійності їхньої роботи. Але, незважаючи на це, більшість досліджень у цьому напрямі на сьогодні

відноситься, перш за все, до обладнання великих і середніх господарств, що займаються виробництвом молока.

Аналіз багатьох робіт і досліджень, присвячених дослідженням машинного доїння корів, показав, що процес доїння є дуже трудомістким і становить до 45% від загальних витрат часу. Нестабільністю рівня вакууму насамперед можна пояснити збої у роботі доїльних установок. У процесі експлуатації доїльних установок постійний рівень вакууму забезпечується надійною роботою вакуумного насоса, що визначає його подачу.

У зв'язку з цим, пошук нових конструктивних рішень вакуумних насосів та обґрунтування параметрів їх роботи, надається одним із актуальних питань загальної проблеми вдосконалення машинного доїння корів. Щодо цього для використання на молочних фермах малих господарств інтерес представляють вакуумні насоси пластинчастого типу. Насоси цього типу відрізняються досить простою конструкцією і мають ряд переваг. Це може дозволити застосовувати їх не тільки для транспортування практично будь-яких середовищ, але використовувати їх як автономні пристрої для створення вакууму. Також можна відзначити, що насоси даної категорії мають високий рівень герметизації, що важливо, якщо враховувати зростаючі міжнародні екологічні стандарти.

Мета досліджень – підвищення ефективності експлуатації вакуумного насоса індивідуальної доїльної установки.

Для досягнення зазначеної мети поставлені наступні задачі досліджень:

- визначити режимні фактори, які найбільше впливають на робочий процес вакуумного насоса;
- провести теоретичне обґрунтування виявлених факторів на оптимальному рівні;
- провести стендові випробування вакуумного насоса;
- провести оцінку економічної ефективності пропонованого вакуумного насоса.

1 Стан питання та вибір напрямків досліджень

1.1 Актуальність питання

В Україні, за останній час, збільшилася частка молока, виробленого у господарствах населення. Тільки 80% поголів'я і виробництва молока припадає на господарства населення. Що зумовило прогресуюче поширення бактеріальних забруднень у молоці та молочних продуктів на всьому ланцюгу – від виробника до реалізації. Якщо порівняти мікробіологічні показники сирого збірного молока, яке надходить на молокопереробне підприємство від сільськогосподарських товаровиробників та особистих господарств, то у останніх ці показники значно гірші табл. 1.1 [1].

Таблиця 1.1 - Бактеріальне обсіменіння сирого збірного молока, яке надходить на молокопереробне підприємство з господарств різних форм власності

Показник	Сільськогосподарські виробники	Приватні господарства населення
Загальна кількість бактерій, КУОх 10^7 /мл	$2,7 \pm 0,4$	$4,8 \pm 0,8$
Термостійкі бактерії, КУОх 10^7 /мл	$0,1 \pm 0,4$	$0,2 \pm 0,4$
Молочнокислі бактерії,	$0,03 \pm 0,08$	$2,1 \pm 0,4$
Протеологічні бактерії,	$0,03 \pm 0,006$	$0,04 \pm 0,003$
Coli – титр	$10^{-4} - 10^{-6}$	10^{-6}
Титр ентерококів	$10^{-1} - 10^{-3}$	10^{-3}
Vac.cereus	$32,3 \pm 8,7$	$44,6 \pm 11,3$

Найбільше забруднення бактеріями молоко спостерігається у літній період (пасовищний), коли температура повітря досягає 25°C і вище. Мікробні числа сирого молока в цей період становили в середньому 51 млн. клітин/мл [1]. В цілому, у молоці від населення в середньому у 1,4 рази більше траплялося бактеріального забруднення, ніж у молоці сільськогосподарських виробників.

Вартість сучасних доїльних роботів, які обслуговують 50 – 60 корів з продуктивністю не нижче 7...8 тис. кг на рік, поки що діже висока і складає 200 тис. доларів США. При сучасному стані вітчизняного виробництва молока, коли середня продуктивність корови досягає близько 4000 кг, а селективно-племінна робота значно відстала від світового рівня, широке використання доїльних роботів на покупному іноземному поголів'ї не ефективно.

Чим швидше і повніше, без болю виводиться молоко із вимені корови, тим воно інтенсивніше створюється. Певне підвищення продуктивності тварин забезпечує ручне доїння, але повнота видоювання обмежується стомленістю рук доярки в основній і заключній фазі доїння

Звичайний доїльний апарат забезпечує повноту видоювання, підвищує санітарно-гігієнічні умови отримання молока, але потребує чіткого виконання режимів та правил машинного доїння. Однією з причин, що знижує виробництво молока є порушення режиму роботи доїльної установки, технології і як наслідок погане видоювання, захворювання на мастит. При порушенні режимів та правил доїння продуктивність корів зменшується на 30% [4].

Особливо в заключній фазі доїння - при перетримці доїльного апарата на дійках (молоковіддача вже закінчилась), якої складно уникнути і яка викликає болісні відчуття, криваводоїння, мастичні захворювання молочної залози, зниження продуктивності, якості молока і передчасний запуск корів. Виходячи з цих вимог стає доцільно застосування машинного доїння і в господарствах населення.

1.2 Фізіологічні передумови та зоотехнічні вимоги до процесу машинного доїння

За своєю організаційно-економічною структурою молочне тваринництво є замкнутою біотехнічною системою «людина— машина—тварина» з незалежними активними біологічними ланками. Провідним і спрямовуючим елементом у цій системі є людина-оператор. Однак наявність у системі іншої біологічної ланки — тварини змушує всю систему підпорядковуватись її внутрішнім біологічним і фізіологічним законам.

У загальному плані елементи системи створюють біотехнологічний комплекс з набором машин, статеві-вікових груп тварин і колективом людей. До складу таких систем входять не тільки технічні, матеріальні і біологічні об'єкти, а й деякі інші елементи, зокрема технологія, умови зовнішнього середовища, у т. ч. і абстрактні — зв'язок, управління, планування (Горьчкін В. П., 1965; Антомонов Ю. Г., 1977).

Ступінь складності сучасних систем доїння різний, що зумовлено кількістю і якістю машин, їх конструкцією, кількістю й індивідуальними властивостями тварин, кваліфікацією операторів, які обслуговують систему, а також кількістю та особливостями взаємозв'язків між окремими складовими системи.

Ефективність роботи такої системи загалом залежить від кваліфікації оператора, його ставлення до роботи, технічного рівня та якості роботи доїльного обладнання, адекватності їх взаємозв'язків з організмом тварини і зовнішнім середовищем (Мельников С. В., 1985). Якщо між елементами системи «людина— машина—тварина» не буде забезпечено якісного адекватного взаємозв'язку, то вона не реалізує свої потенційні можливості, функціонуватиме неефективно і завдасть шкоди тварині. Будь-яка невідповідність взаємозв'язків спричинює зниження молочної продуктивності корів (Антомонов Ю. Г., 1977).

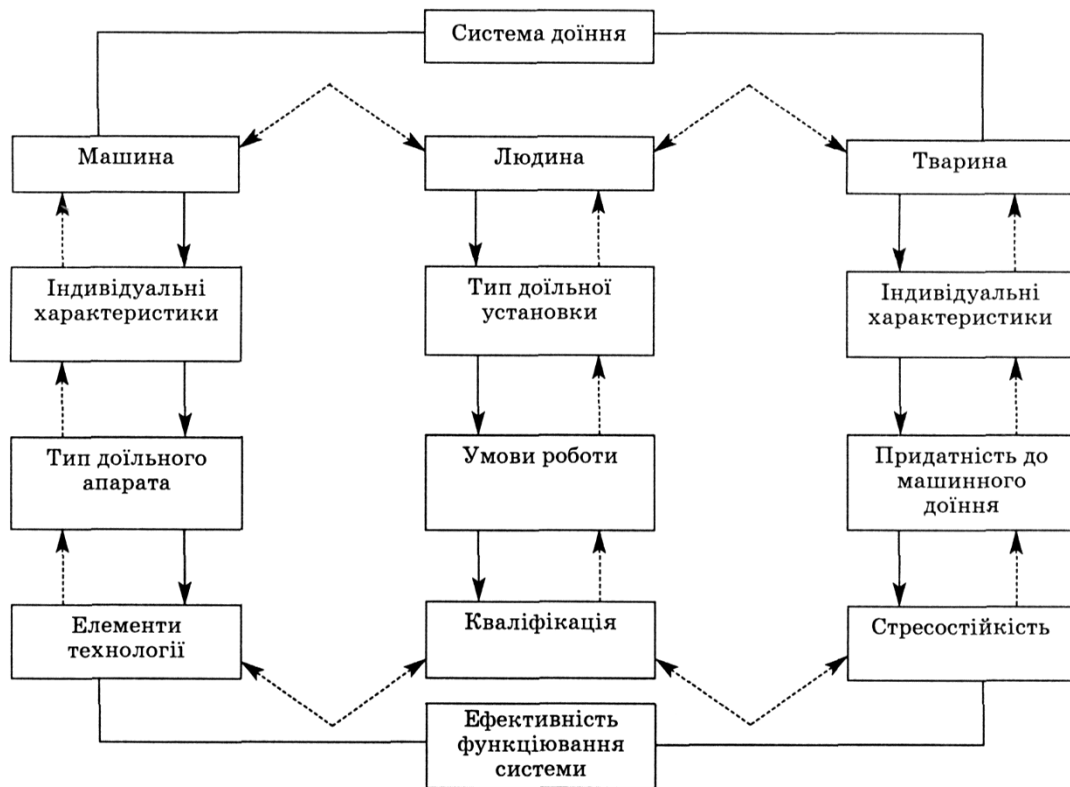


Рисунок 1.1 - Схема функціонування системи доїння

У функціональній системі доїння корів людина займає чільне місце (рис. 1.1). Саме їй належить ключове значення у функціонуванні цієї системи. Особливо значна роль відводиться людині при використанні недосконалої доїльної апаратури, де на неї покладається виконання важливих технологічних операцій, які потребують значних затрат праці. Йдеться про підготовку корів до доїння, підключення доїльних апаратів, контроль процесу доїння, проведення машинного додоювання корів, відключення доїльних апаратів, проведення профілактичного оброблення дійок вимені після доїння.

Отже, базовими елементами біотехнічної системи доїння є ланки «людина—машина» і «тварина—машина».

Людина — головна ланка системи доїння, яка, використовуючи блоки управління, впливає на роботу машини, а через неї — на живий організм. З ускладненням системи доїння функції оператора підвищуються, передусім у зв'язку

зі збільшенням кількості інформації, що надходить. Змінюється також складність взаємодії умов функціонування системи та інших факторів. При цьому оператор машинного доїння протягом тривалого часу у високому темпі (25—60 рухів за 1 хв.) виконує складні просторові рухи, контактує з тваринами, спостерігає за їх поведінкою, враховує їх індивідуальні особливості, фіксує значення приладів. Усе це призводить до великих фізичних навантажень на людину, у зв'язку з чим якість її роботи, а відповідно, і вплив іа ефективність функціонування системи доїння протягом однієї робочої зміни різні.

Для найефективнішого використання функціональних властивостей системи доїння потрібно передусім забезпечити необхідні умови праці оператора (Рябцев Б. І., 1988), які характеризуються такими ергономічними вимогами:

- максимальним ступенем механізації та автоматизації технологічних процесів;
- достатністю робочого простору, необхідного для зручного розташування виконавчих елементів доїльної установки, виконання операцій з підготовки корів до доїння та проведення завершальних операцій доїння;
- достатністю фізичних, зорових і слухових зв'язків між людиною та машиною;
- оптимальним природним і штучним освітленням, рівнем шуму.

Крім того, оператор при виконанні технологічного процесу (доїння повинен отримувати максимум інформації про тварин, яких він обслуговує, швидко її аналізувати й управляти технологічним процесом загалом (Новосельцев В. Н., 1978).

Машина у процесі доїння безпосередньо контактує з твариною дією доїльного апарата на дійки. Від якості взаємодії елементів системи «машина-тварина» залежать інтенсивність рефлексу молоковіддачі у корів, фізіологічний стан молочної залози, якість видоювання і продуктивність корів за лактацію,

отже, машина у системі доїння виконує основні функції, пов'язані з видоюванням корів. Від режиму її роботи залежить фізіологічний стан і продуктивність тварини. Якщо режим роботи доїльної машини буде неадекватний фізіологічним потребам тварини, то вона не реалізує свою потенційну продуктивність (Мельников С. В., 1985). У зв'язку з цим машина у біотехнічній системі має задовольняти такі вимоги:

- режим роботи машини повинен відповідати фізіологічним потребам тварини, забезпечувати повноцінну стимуляцію рефлексу молоковіддачі і якісне видоювання корів із встановленою періодичністю;

- виключати негативний вплив на молочну залозу і організм тварини;

- забезпечувати одержання молока високої якості.

Тварина у системі доїння є головним біологічним об'єктом, для якого і створюється система. Інший біологічний об'єкт - людина - функціонує, як і машина, для забезпечення фізіологічних потреб тварини. Попри те що всі інші ланки системи підпорядковані тварині, ефективність системи доїння великою мірою залежить і від тварини, її індивідуальних характеристик (Ханін М. А., 1977). Важливо, щоб корови були максимально стандартизовані за розмірами, живою масою, надоем, формою і розмірами вимені, швидкістю молоковіддачі та іншими показниками. Головна вимога до тварини — придатність до машинного доїння.

Крім придатності корів до машинного доїння, важливо, щоб корови були стресостійкими до зміни умов утримання і доїння. Якщо проаналізувати процес функціонування біотехнічної системи, то тварина в ній увесь час перебуває в напруженому стані. Часто між елементами системи «людина-машина-тварина» порушується взаємозв'язок, що зумовлює порушення технології і режиму роботи доїльного обладнання. Неадекватні дії людини чи машини спричинюють стресові реакції тварин, що гальмує процеси молоковіддачі (Розен Р., 1969).

Перша стадія стресової реакції - тривога - виникає у корови відразу після включення доїльної установки, при переміщенні тварин із секцій, де їх утримують, до доїльного залу. Під час заходження корови у доїльний станок дія стресових факторів може підвищуватись або знижуватись. Якщо режим роботи доїльного обладнання, технологія доїння й умови середовища, в яких перебуває тварина, адекватні її фізіології, то стресова реакція знижується і молоковіддача є повноцінною. Якщо тварина протягом усього періоду доїння перебуває у стресовому стані, то продуктивність її різко знижується (Ханін М. О., 1977).

Зважаючи на ці особливості, важливою складовою у системі є адаптація тварин до умов середовища і до технічних засобів системи. Використання тварин у біотехнічній системі може бути ефективним тільки тоді, коли їх біологічні потреби перебувають у цілковитій гармонії з умовами функціонування системи і технікою, що використовується. Якщо технологічний процес не відповідає умовам забезпечення нормального функціонування організму, то тварини вимушені адаптуватись до них з великим напруженням різних фізіологічних систем, що супроводжується додатковою витратою енергії, зниженням продуктивності і відтворювальної функції, погіршенням якості продукції.

Фізіологічні і ветеринарні вимоги до механізованого доїння наступні:

1) Механізм дії робочих частин доїльного апарата доцільно зробити таким, щоб він якомога повніше відображав механізм дії ссання теляти і роботу руки доярки.

2) Основні фізіологічні і механічні дії, які забезпечують виведення молока із вимені (додатні і від'ємні тиски на дійку), повинні бути в межах природних величин.

3) Доїльний апарат повинен забезпечити регульовану зміну величин додатного і від'ємного тисків (10-80 мм рт.ст.), а також числа пульсації (40-68 за хвилину) у відповідності з індивідуальними фізіологічними особливостями корів і процесом виведення молока.

4) Частота пульсатора не повинна дорівнювати частоті серцевого ритму (88 уд./хв.), а бажано з запізнюванням 15-20% [10].

5) Робочий орган доїльного апарата повинен забезпечити можливість вільного відводу молока з дійок в період найбільшого виділення його із вимені, в перші хвилини доїння, коли у окремих корів за одну хвилину може бути виділено 50% молока всього удою (до 5-6 л).

б) Доїльний апарат повинен забезпечити видоювання однієї корови в середньому не більше ніж за 4-6 хв. з середньою швидкістю надою 2 л за хв. Основна маса молока (біля 75%) повинна отримуватись за перші 2-3 хв., в період найбільш вираженого рефлексу віддачі молока. З цією метою бажано на робочий такт відводити більшу частку часу (70-80%).

8) Дійки під час доїння не повинні надмірно деформуватись і втрачати несприйнятливості до інфекційних захворювань.

9) Дія доїльного апарату повинна бути нешкідливою при випадковому затриманні доїльних стаканів на вимені корови.

10) Своїми діями на вим'я корови доїльний апарат не повинен викликати у корів патологічну гіперемію, венозний застій крові, набрякання, кроводій і мастит. Застосування доїльного апарату повинно забезпечити повну безпеку доїння корів.

Технічні вимоги до доїльного обладнання:

1 Доїльний апарат повинен бути простим і зручним для розбирання і складання вручну, повинна забезпечуватись зручна промивка та чистка.

2 Регулятор вакууму та пульсатор повинні забезпечити на початку доїння (40-45 с) масажні рухи дійкової гуми з частотою 0.8-1 Гц при величині вакууму 20-30 кПа, з співвідношенням тактів 70:30.

3 При збільшенні молоковіддачі більше ніж 0,2 кг/хв., апарат повинен перейти до інтенсивного доїння зі швидкістю видоювання 2 кг/хв. Величина вакууму при цьому повинна становити 48-50 кПа, частота тактів повинна бути у такому відношенні: 70% ссання і 30% стиск.

4 При зниженні молоковіддачі до 0,2 кг/хв. регулятор повинен перевести роботу апарата на знижений рівень вакууму до 20-30 кПа і співвідношення тактів: 70% ссання 30% стиск .

5 Регулятор вакууму, пульсатор і колектор повинні формувати величину вакууму у міжстінковому та піддійковому просторах так, щоб величина вакууму у піддійковому просторі перевищувала на 5% величину вакууму у між стінковому просторі.

6 Доїльний апарат повинен забезпечити можливість попарного видоювання дійок.

7 Доїльні стакани повинні утримуватись на вимені без застосування спеціальних пристроїв і забезпечувати доїння корів з дійками різних розмірів. Видоювання дійок повинно бути одночасним і попарним.

8 Неметалеві деталі (гумові) повинні бути стійкими до дії жиру, повітря, гарячої води, пару та світла. Деталі, які контактують з молоком повинні відповідати стандартам за хімічним складом і якістю виготовлення.

9 Повинна бути забезпечена можливість зручного візуального контролю за витіканням молока із вимені.

10 В комплекті доїльного апарата необхідно мати реєстраційний прилад для обліку надою молока і приладу для зберігання стаканів і їх дезінфекції.

11 Посудини і трубопроводи, призначені для зібрання молока, повинні мати гладеньку внутрішню поверхню і виготовлятись із матеріалів, які відповідають вимогам харчового машинобудування.

12 Доїльний апарат не повинен створювати надмірного шуму (не більш 60дБ).

1.3 Порівняльний аналіз індивідуальних доїльних установок

Для доїння невеликої череди корів пропонується ряд пересувних та стаціонарних доїльних установок, як вітчизняного, так і зарубіжного виробництва.

Господарям, які утримують невелике дійне стадо, важливо вірно підібрати доїльну установку. Пересувні установки для індивідуального доїння корів конструктивно виконані у вигляді пересувного візка, який складається з несучої рами з двома колесами, ручкою і підпорною ніжкою рисунок 2.



а



б

Рисунок 2 – Пересувні індивідуальні доїльні установки: а) установка доїльна індивідуальна УДИ-5; б) пересувна доїльна установка «UNICART» (2 доїльні відра)

На рамі змонтовані електродвигун з вакуумним насосом, вакуумний балон із стояком, а також розташований молокозбірний бідон з доїльним апаратом. На стояку змонтовано вакуумметр, вакуумний регулятор, санітарна ємність, панель з пускачем і двома запобіжниками. Електромережний кабель з вишкою намотано на кронштейн ручки. Гнучкі шланги і трубки послідовно з'єднують вакуумний насос, вакуумний балон, стояк, молокозбірний бідон і доїльний апарат.

Стаціонарні установки для індивідуального доїння монтують у корівнику (або хліві) і оснащені додатково вакуумпроводом з кранами для підведення вакуумного тиску рис. 3. Вакуумпровід кріпиться на кронштейни, які надійно закріплюють до стіни.

Робота доїльних установок побудована на принципі відсмоктування молока апаратом із цистерни вимені корови під дією вакуумного тиску, який створюється в системі трубопроводом вакуумним насосом. Останній приводиться у

дію за допомогою електродвигуна. Для доїння на пасовищу або при відсутності електромережі на мобільних установках («UNICART», ODS-1B) передбачено варіант приводу насосу з бензиновим двигуном Д.В.С, Хонда 5 л.с., або сумісно бензиновий і електричний двигуни.

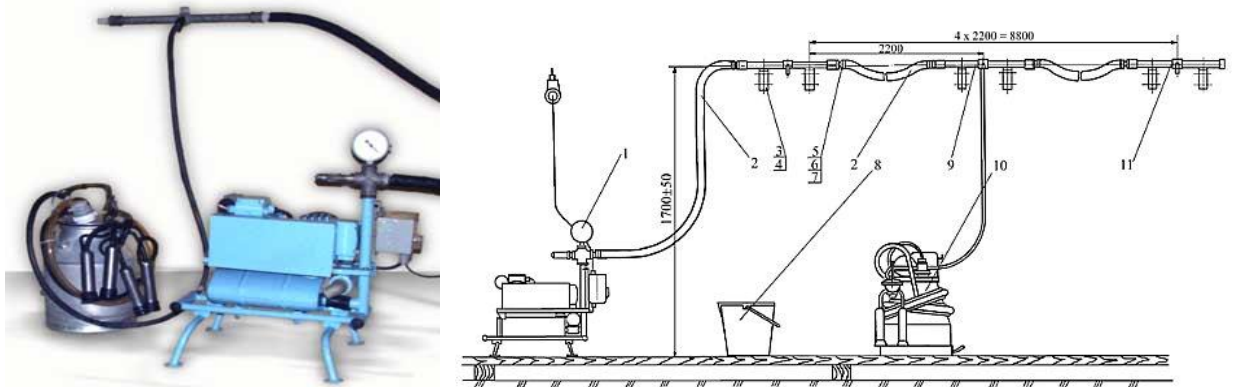


Рисунок 3 - Стационарна установка для індивідуального доїння УДІ-6

Для забезпечення вакуумного тиску у доїльних установках промислового типу переважно застосовуються вакуумні насоси пластинчасто-ротаційний, поршневий і водокільцевий. До переваги першого відноситься простота конструкції і менша матеріалоемність. Недоліки – наявність поверхонь тертя, які потребують систему змащування і потім викидання мастила у атмосферу. Крім того, вони мають велику енергоемність, що пояснюється витратами повітря через перетікання та витратами енергії на подолання тертя (АІД-01, АІД-2).

Водокільцеві насоси не мають поверхонь тертя, але складніші за конструкцією, мають більшу матеріалоемність та потребують постійного контролю якості та кількості воли і додаткових пристроїв для її виведення (АІД-С «Алеся», АІД-1, ПДУ Дояр АС-3).

Деякі зарубіжні виробники («Де-Лаваль» і інші) розробили і застосовують вакуумні насоси «сухого» типу, де використовують лопатки, які виготовлені на основі графітових матеріалів, що дає можливість відмовитись від змащування мастилом. Але ці насоси теж мають свої недоліки у використанні - наробіток таких насосів досить малий, що потребує частої їх заміни. Крім того, використання графітових лопаток передбачає високі вимоги до якості поверхні

статора, що збільшує ціну його виготовлення. У новітніх вакуумних насосах застосовують лопатки з вуглепластику, що дозволяє збільшити їх зносостійкість і міцність. Застосування у пластинчасто-ротаційних вакуумних насосах лопаток з вуглепластику, дозволяє виключити необхідність змащування поверхонь тертя, полегшує їх експлуатацію у зимовий період (при мінусових температурах). Установки для індивідуального доїння з вакуумним насосом «сухого» типу УДІ-5, УДІ-5-01, УДІ-5тк, УДІ-6, ODS 1В, ODS-1KN, ODS-2S-01, ODS-2-10, «ВЕЛЕС»-10, «ВЕЛЕС»-11, УДК-1, УДК-2.

На сучасному етапі робота над доїльними апаратами спрямована на розробку таких, які більше відповідають фізіології віддачі молока у корови.

За принципом дії доїльні апарати діляться на двотактні і тритактні. У двотактних апаратах робочий цикл складається з тактів – ссання і тиску, а в тритактному крім того, є такт відпочинку.

Виконавчим вузлом кожного доїльного апарата є доїльний стакан. В корпус стандартного доїльного стакана встановлено соскову гуму, яка поділяє його на дві камери: міжстінну і піддійкову. При такті ссання під дійкою і у міжстінної камері створюється вакуум. Під дією різниці тисків у вимені корови і під дійкою, молоко витікає з дійки. Під час такту тиску під дійкою залишається вакуум, а у міжстінної камері тиск відновлюється до атмосферного. Внаслідок дії тисків соскова гума прогинається і відбувається масаж дійки. Недоліки двотактних доїльних апаратів: - під час кожного такту ссання порушується кровообіг в дійках, яке не поновлюється під такт тиску;

- під час тиску дійки значно подовжуються, в наслідок чого доїльні стакани наповзають на дійки та вим'я корови;

- робота стаканів в «холосту», при перетримці їх на дійках особливо шкідлива і викликає захворювання вимені;

- значні експлуатаційні витрати на зміну гумових деталей, особливо соскової гуми (строк її дії від 1 до 6 місяців).

Будь який двотактний доїльний апарат з двокамерними стаканами можливо перетворити у тритактний і навпаки, шляхом заміни колектора. Для доїння у приватному секторі випускаються двотактні доїльні установки, які комплектуються типовим доїльним апаратом АДУ-1: АІД-2, УДІ-5, «Доюшка», ІДА «Мілка», АІД-1, УІД-10, УІД-20, АІД «Алеся», «ВЕЛЕС-10, «ВЕЛЕС»-11.

В тритактному доїльному апараті при додатковому такті відпочинку у піддійковій і міжстінній камерах тиск вирівнюється до атмосферного. Тривалість такту ссання при цьому залишається незмінним, а тривалість такту тиску доведена до 10-15% тривалості пульсаційного циклу. Відбувається відпочинок дійки, під час якого кровообіг у неї відновлюється. У внутрішніх кільцевих порожнинах присосків доїльних стаканів завжди підтримується остаточний вакуум, який сприяє утриманню стаканів на дійках під час такту відпочинку. Особливості тритактного доїльного апарата порівняно з двотактним: - під час доїння дійки менше подовжуються і при цьому кровообіг майже не порушується;

- мінімальна можливість наповзання дійкових стаканів на дійки і вим'я корови;

- можлива перетримка доїльного апарата на дійках вимені після повного видоювання (шкідлива дія зведена до мінімуму);

- можливо видоювання будь-яких корів, у числі і з повільною молоковіддачею, при цьому захворювання дійок і вимені не відбувається. Поряд з тим тритактні доїльні апарати мають і недоліки: - як і у двотактному доїльному апараті значний розхід гумових деталей, особливо соскової гуми;

- для створення такту відпочинку відбувається впуск атмосферного повітря під дійки, при цьому створюється імовірність забруднення молока. Тритактні доїльні установки: УДІ-5м; УДІ-6тк; ПДУ Дояр АС-3.

Для корів з високим річним надоєм доцільно застосувати двотактний доїльний апарат попарної дії. При цьому однойменні такти одночасно відбуваються в двох доїльних стаканах, а в інших стаканах такти зміщені на 180°. Дої-

льний апарат характеризується поліпшенням масажу вимені корови, підвищенням швидкості транспортування молока у доїльне відро і відповідно, більшою швидкістю доїння.

В наступний час більшість фірм, які виробляють доїльні апарати, працюють над вирішенням головних проблем існуючих доїльних апаратів - пошук нового маніпулятора доїльного стакану і роботи в ньому дійкової гуми, яка безпосередньо контактує з твариною і є зв'язком між доїльним апаратом і коровою. Друга не менш важлива проблема – розробка принципово нового полегшеного по масі низьковакуумного доїльного апарата для високоудійних корів з підвищеною молоковіддачею [11].

Новий доїльний апарат «Дояр», розроблений російськими виробниками у 2005 році частково вирішує існуючі проблеми машинного доїння рис. 4. Новими елементами тритактного доїльного апарата попарної дії є доїльні стакани, які складаються з гільз, виконаних з прозорих пластичних мас, які не б'ються, і двокамерних гомеоформних силіконових присосок.



ПДУ Дояр АС-3



Дояр АС-3 (комплект)

Рисунок 4 - Установка для індивідуального доїння у підсобних та фермерських господарствах

Колектор еліпсоподібного виду з більшим об'ємом, який зменшує турбулентність проходження молока і перепускного клапана для створення третього такту

– відпочинку. Технічні характеристики доїльного апарата наближені до природних фізіологічних умов тварини. Конструктивні особливості доїльного стакану обладнання серії «Дояр» вирішує недоліки традиційного стандартного доїльного стакану булочного типу. Дія стаканів стандартного (класичного) типу з панчішною дійковою гумою відбувається так, що змикання стінок відбувається переважно у зоні сфінктера і у підбійкової області, що переважно і призводить до механічного тертя сфінктера рис. 5. Під час ссання дійки значно подовжуються і дійний стакан наповзає на основу дійки і вим'я корови. При цьому зв'язок між дійкою і вименем порушується і доїння припиняється передчасно. Внутрішня тканина у основи дійки часто порушується, що призводить до захворювання на мастит. Строк дії дійкової гуми від 1 до 6 місяців. Гільза доїльного стакану серії «Дояр» нової конструкції виготовлена прозорою з ударостійкого полікарбоната. Корпуси присоски і трубчастої вставки виконані з сіли кону. Строк дії трубчастої вставки складає 3 – 4 роки.

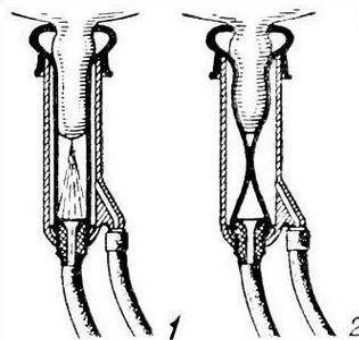


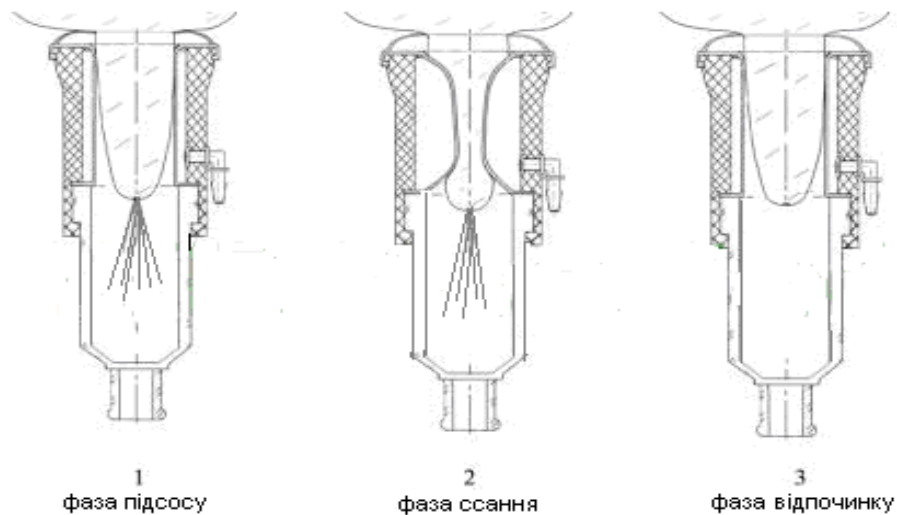
Рисунок 5 - Конструкція і принцип дії стандартного (класичного) доїльного стакану

Доїння відбувається за допомогою змінного вакууму, яке надається у внутрішню камеру. Вплив масажної дії відбувається по основі дійки і цистеріальній частині вимені. Зона сфінктера не підлягає впливу масажу. Камера компенсаційного тиску перешкоджає наповзанню доїльного стакану під час підсосу і одночасно вона створює масаж основи дійки. Під час відпочинку остаточний вакуум в цієї камері перешкоджає спаданню стаканів з дійок рис. 6 і рис. 7.

Прозора гільза доїльного стакана дозволяє спостерігати процес молоко-віддачі кожної дійки і констатувати його закінчення, що виключає виникнення «холостого» доїння. Доїльні стакани нового апарата в 4 рази полегшені по масі і мають зменшену камеру пульсуючого вакууму. Значне зниження вакууметричного робочого тиску під дійкою – теж відповідає фізіологічному доїнню корів.



Рисунок 6 - Конструкція дійкових стаканів доїльного апарата «Дояр»



Дія дійкового стакана

Рисунок 7 - Конструкція і принцип дії дійкових стаканів доїльного апарата серії «Дояр» тритактної фази доїння

Вакуум, який створює теля при ссанні корови не перевищує 0,1 – 0,3 атм. (10 – 35 кПа), тоді як для роботи традиційних доїльних апаратів необхідний робочий вакуум повинен досягати 0,5 – 0,8 атм., що є екстремальним для тварин. Зменшення об'єму камери пульсуючого вакууму у новому доїльному стакані і полегшення апарата по масі дозволило значно знизити технологічні параметри вакууму і застосувати агрегати меншої потужності. Це привело до зниження потреби електроенергії у 3 рази.

Огляд існуючих конструкцій доїльних установок дозволяє зробити наступні висновки:

1. Практично всі установки такого типу виконуються у пересувному варіанті.
2. Переважаюча більшість установок укомплектована водокільцевими та ротаційними вакуумними насосами.
3. Доїльні апарати, що використовуються у приведених установках мають різне виконання, що в свою чергу забезпечує різні технологічні можливості установок.
4. Вакуумна система доїльних установок укомплектована вакуумрегуляторами 2-х типів – ваговим та мембранним.

Виходячи з проведеного аналізу, можна висунути техніко-технологічні вимоги до індивідуальної доїльної установки:

- маса комплектного доїльного апарата разом з відром не повинна перевищувати 8-9 кг.
- тип вакуумного насосу – пластинчасто-роторний без системи змащування.
- вакуумна установка повинна монтуватись на загальній рамі і мати вільний доступ до її обслуговування.
- доїльний агрегат необхідно комплектувати стандартним доїльним відром місткістю 18 - 25 л;
- час на розбирання та складання одного доїльного апарата не повинен перевищувати в середньому 10-16 хв.

- рекомендована кількість обслуговуваних доїльною установкою корів 1 – 10 голів.

- тип установки – пересувний.
- кількість видоєних корів за годину – 8-10.
- робочий вакуумний тиск не перевищувати – 47кПа.
- частота пульсації - 60 ± 5 пульс./хв.
- привід вакуумного насосу – електричний двигун.
- встановлена потужність не більше - 0,55-0,75 кВт.
- загальна маса доїльної установки – 45–55 кг.
- кількість обслуговуючого персоналу не більш – 1 чол.

Впровадження установки згідно з викладеними техніко-технологічними вимогами дозволить знизити захворюваність корів на мастити на 25%, підвищити якість молока, підвищити жирність молока, знизити затрати ручної праці на передоїльний масаж та на додоювання корови.

1.4 Мета і задачі досліджень

Мета досліджень – підвищення ефективності експлуатації вакуумного насоса індивідуальної доїльної установки.

Для досягнення зазначеної мети поставлені наступні задачі досліджень:

- визначити режимні фактори, які найбільше впливають на робочий процес вакуумного насоса;
- провести теоретичне обґрунтування виявлених факторів на оптимальному рівні;
- провести стендові випробування вакуумного насоса.

2 Дослідження факторів, які впливають на експлуатацію вакуумного насоса

2.1 Основні теоретичні положення

Процес створення розрідження вакуумним насосом характеризується не-постійними за часом, складними газодинамічними явищами, які не піддаються строгому аналітичному опису. Тільки при сполученні теорії з експериментом можливий підхід до розуміння повної фізичної картини цього процесу.

На першому етапі нашого дослідження ми зупинили свою увагу на конструкції пластинчато-роторного вакуумного насоса і тепер нам необхідно більше детально вивчити всі процеси з метою уточнення методики розрахунку і визначення оптимальних значень робочих параметрів, що поліпшують його характеристику. Незважаючи на ряд власних переваг, описаних у першому розділі варто не забувати про те, що ефективність функціонування і динаміка даних машин залежить від цілого ряду техніко-технологічних факторів. Вивченню ефективності роботи вакуумних насосів при машинному доїнні присвячені роботи багатьох вітчизняних і зарубіжних учених.

У більшій частині робіт розглядаються питання дослідження існуючих конструкцій вакуумних насосів, оцінки надійності їх деталей і вузлів. Частина праць присвячена експериментально-теоретичному дослідженню дослідних зразків насосів. У них відзначається, що найбільш важливим показником оцінки роботи вакуумного насоса є його подача.

Тут слід зазначити такі фактори, як, наприклад, характер термодинамічних процесів у камерах привода, параметри стисненого повітря на його вході, тертя пластин об статор, конструктивні розміри і т.д. Однак особливий інтерес представляють ті фактори, які найменш досліджені. У нашому випадку

ми зупинилися на теоретичному дослідженні впливу законів повітрярозподілу, а саме фаз розподілу повітря, на механічні та енергетичні показники. Так само в роботі розглянуто один з основних робочих параметрів насоса - частота обертання вала ротора, яка значно впливає на його характеристику.

Витрата стисненого повітря безпосередньо пов'язана з площею поперечного перетину впускного вікна, однак тут важлива не стільки якісна, скільки кількісна сторона. Вакуумні насоси, що працюють із доїльними установками, мають ступінь стиску, що не перевищує трьох одиниць і тому фази розподілу повітря повинні вибиратися з урахуванням можливих перетікань повітря з порожнини нагнітання в порожнину усмоктування. Невірно обрана фаза розподілу повітря, форма і перетин впускних вікон і патрубків негативно позначаються на робочому процесі насоса, температурному режимі і надлишковому тиску у вихідному перетині насоса.

Основною характеристикою будь-якого вакуумного насоса є його об'ємна продуктивність, що залежить від коефіцієнта наповнення всмоктуючої камери (подачі) і обчислюється за формулою формулі [12]:

$$V_r = \eta_v \cdot V_g, \quad (2.1)$$

де η_v - коефіцієнт подачі насоса;

V_g - геометрична продуктивність насоса, м³/год.

Геометрична продуктивність насоса V_g залежить від геометричних параметрів і частоти обертання вала ротора. Її значення можна визначити з виразу [12]:

$$V_g = \operatorname{ReLn} \left[4\pi - \frac{\pi^3}{3} \left(1 + 2 \frac{m}{R} \right) \frac{1}{z^2} - \frac{2\delta z}{R_{\text{и.}}} \right] 60, \quad (2.2)$$

де $R_{\text{ц}}$ - радіус циліндра, м;

e - ексцентриситет насоса, м;

L - довжина циліндра, м;

z - число пластин;

n - частота обертання ротора насоса, хв^{-1} ;

δ - товщина пластини, м.

Проробивши деякі перетворення, можна привести формуле до більше зручного для використання виду

$$V_r = 10enL \left[12(\pi D - \delta z) - \frac{\pi^3}{z^2} (D + 4m) \right], \quad (2.3)$$

де D - діаметр циліндра, м.

Також останню формулу можна виразити як:

$$V_r = 120\lambda_m eLu \quad (2.4)$$

де λ_m - теоретичний коефіцієнт подачі, що залежить від товщини пластини,

$$\lambda_m = 1 - \frac{\delta z}{\pi D} \quad (2.5)$$

u - середня колова швидкість пластини, м/с.

Після деяких перетворень вираз приймає вид:

$$V_r = 120\pi eLDn \left(1 - \frac{\delta z}{\pi D} \right). \quad (2.6)$$

Вираз в дужках характеризує теоретичний коефіцієнт подачі, що враховує товщину пластини.

Останню формулу можна записати у вигляді

$$V_r = 120eLnC_1, \quad (2.7)$$

де $C_1 = \pi D$ - довжина окружності циліндра насоса, м.

Коефіцієнт наповнення (подачі) усмоктувальної камери насоса V_T

$$\eta_v = \frac{V_T}{V_r}$$

залежить від її конструктивного виконання й ступеня підвищення тиску у вихідному перерізі. Його можна визначити з рівняння середнього коефіцієнта подачі

$$\eta_{cp.} = 0,42\eta_v + 0,58$$

або по формулі

$$\eta_v = 1 - K^1 \frac{P_H}{P_{bc}} = 1 - K^1 \cdot \tau, \quad (2.8)$$

де p_H - тиск нагнітання, кПа;

p_{bc} - тиск усмоктування, кПа;

$K^1=0,1$ для машин малої продуктивності;

$K^1=0,05$ для машин великої продуктивності.

У деяких літературних джерелах [12, 13] значення загального коефіцієнта подачі дається в межах 0,5 - 0,8. Для наших умов у відповідності до висновків С.Б. Старка можлива одержання коефіцієнта η_v в межах 0,8 - 0,9.

2.2 Фактори, які впливають на робочий процес вакуумного насоса

Виходячи з приведених вище теоретичних положень, виникає необхідність визначити основні фактори, які впливають на такі показники насоса, як продуктивність та потужність, що затрачується на його привід.

Теоретична продуктивність та потужність насоса залежить від:

- геометричних параметрів насоса;
- режимних характеристик роботи насоса.

2.2.1 Геометричні параметри

До геометричних параметрів вакуумного насоса слід віднести розміри його основних складових, які утворюють робочу камеру комірки. Так як вона обмежена ротором, статором, лопатками та боковими кришками насоса, це будуть:

- діаметр статора D ;
- діаметр ротора d ;
- ексцентриситет e ;
- ширина ротора L .

Крім приведених вище, до геометричних параметрів, які суттєво впливають на продуктивність насоса слід віднести фази розподілу повітря (розміщення впускних випускних вікон, їх розміри) та зазори між ротором та кришками (торцевий зазор), ротором та статором (радіальний зазор). Якщо перший фактор напряму пов'язаний з геометрією насоса, його параметри закладаються

на стадії проектування, то другий в цілому залежить від якості виготовлення окремих деталей та якості наступного збирання. Як свідчать літературні джерела, на долю внутрішніх перетікань припадає приблизно 60 % втрат об'ємної продуктивності насоса. На рис. 2.1 приведено різні типи щілин у вакуумному насосі, які впливають на внутрішні перетікання.

Як показує попередній досвід, розмір зазорів має найбільший вплив при невисоких частотах обертання. Вочевидь, це пояснюється тим, що швидкість перетікання повітря через зазори має певні межі, і при збільшенні інтенсивності робочого процесу за рахунок інертності системи, об'єм повітря при перетіканні менший.

Для визначення витрат газу через різні типи щілин в [12] було виведено емпіричні залежності:

- витрати газу через радіальний зазор

$$m_p = q_p \delta_p L, \quad (2.9)$$

де q_p – питома витрата газу через радіальний зазор, кг/(м³с).

- витрати газу через торцевий зазор між ротором і кришкою насоса

$$m_{m1} = q_{m1} \delta_{m1} (r - r_v), \quad (2.10)$$

q_{m1} – питома витрата газу через зазор між ротором і кришкою насоса, кг/(м³с).

Вираз (2.9) можна використати для розрахунку витрат через зазор між лопаткою та кришкою насоса.

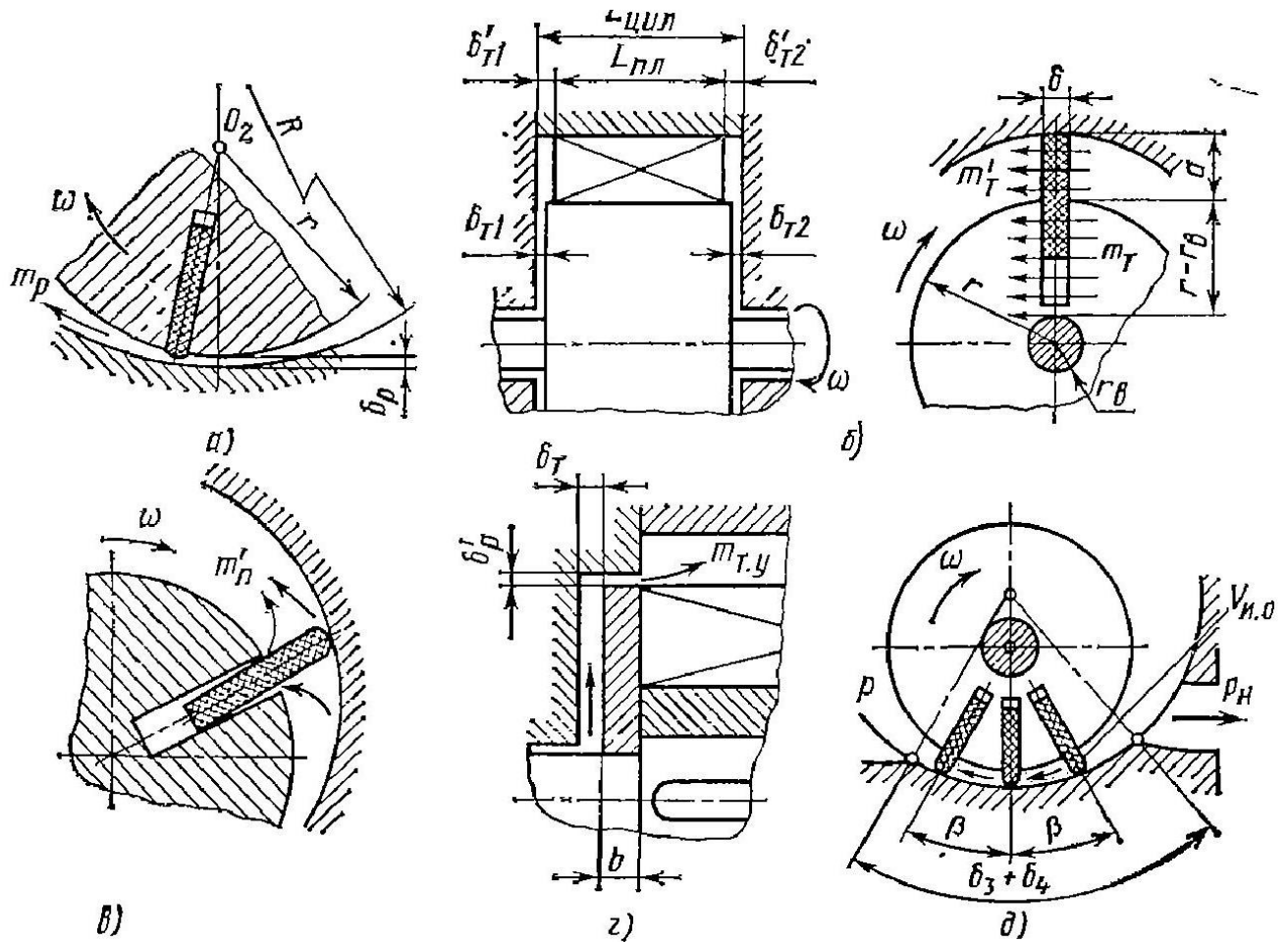


Рисунок 2.1 - Типи зазорів в насосі: а – радіальний; б – торцевий; в – мікроциліндрний; г – в дисковому ущільненні; д – положення ізолюваного об'єму

2.2.2 Режимні параметри

Режимні параметри насоса – частота обертання ротора та робочий вакуум. Обидва ці параметри впливатимуть на продуктивність та потужність привода насоса як прямо, так і через проміжні фактори – зміну об'єму внутрішніх перетікань в насосі. Для визначення впливу режимних параметрів роботи насоса, найкраще провести ряд експериментів, при фіксованих геометричних. Це дасть змогу оцінити окремо їх вплив на вихідні характеристики насоса та вибрати оптимальний режим його експлуатації.

2.3 Теоретичні дослідження впливу режимних параметрів

В даному підрозділі нами пропонується провести теоретичну оцінку впливу режимних параметрів на продуктивність та потужність на привід вакуумного насоса. В якості такого насоса буде використано існуючу машину, яка входить до складу індивідуальної доїльної установки ДУ-10 [32]. Геометричні параметри насоса наведено в табл. 2.1.

Таблиця 2.1 - Геометричні параметри вакуумнасоса

Діаметр статора, мм	Діаметр ротора, мм	Ексцентриситет, мм	Довжина лопатки, мм	Торцевий зазор δ_t , мм	Радіальний зазор δ_p , мм
120	111,5	8,5	130	0,07	0,05

Як було сказано вище (п. 2.1), продуктивність насоса можна визначити як:

$$Q_{mz} = \frac{4V_n \omega}{2\pi} = 0,5e \cdot (D + e) \cdot L \cdot \omega, \quad (2.11)$$

Розрахункова продуктивність насоса визначається з врахуванням реальних умов експлуатації:

$$Q_m = \eta_m \eta_n Q_{mz}, \quad (2.12)$$

де η_m - манометричний коефіцієнт, який враховує умови вакууму

$$\eta_m = \frac{p_a - h}{p_a} = \frac{p_h}{p_a}. \quad (2.13)$$

Таблиця 2.2 - Теоретична продуктивність вакуумного насоса, м³/год.

Частота обер- тання ро- тора, хв ⁻¹	Величина вакууму, кПа								
	40	44	48	52	56	60	64	68	70
1000	12,5	11,4	10,4	9,6	8,9	8,3	7,8	7,3	7,1
1050	13,1	11,9	10,9	10,1	9,4	8,7	8,2	7,7	7,5
1100	13,7	12,5	11,5	10,6	9,8	9,2	8,6	8,1	7,9
1150	14,4	13,1	12,0	11,0	10,3	9,6	9,0	8,4	8,2
1200	15,0	13,6	12,5	11,5	10,7	10,0	9,4	8,8	8,6
1250	15,6	14,2	13,0	12,0	11,2	10,4	9,8	9,2	8,9
1300	16,2	14,8	13,5	12,5	11,6	10,8	10,1	9,6	9,3
1350	16,9	15,3	14,1	13,0	12,0	11,2	10,5	9,9	9,6
1400	17,5	15,9	14,6	13,5	12,5	11,7	10,9	10,3	10,0
1450	18,1	16,5	15,1	13,9	12,9	12,1	11,3	10,7	10,3
1500	18,7	17,0	15,6	14,4	13,4	12,5	11,7	11,0	10,7
1550	19,4	17,6	16,1	14,9	13,8	12,9	12,1	11,4	11,1
1600	20,0	18,2	16,7	15,4	14,3	13,3	12,5	11,8	11,4
1650	20,6	18,7	17,2	15,9	14,7	13,7	12,9	12,1	11,8
1700	21,2	19,3	17,7	16,3	15,2	14,2	13,3	12,5	12,1
1750	21,9	19,9	18,2	16,8	15,6	14,6	13,7	12,9	12,5
1800	22,5	20,4	18,7	17,3	16,1	15,0	14,1	13,2	12,8
1850	23,1	21,0	19,3	17,8	16,5	15,4	14,4	13,6	13,2
1900	23,7	21,6	19,8	18,3	17,0	15,8	14,8	14,0	13,6
1950	24,4	22,1	20,3	18,7	17,4	16,2	15,2	14,3	13,9
2000	25,0	22,7	20,8	19,2	17,8	16,7	15,6	14,7	14,3
2050	25,6	23,3	21,3	19,7	18,3	17,1	16,0	15,1	14,6
2100	26,2	23,8	21,9	20,2	18,7	17,5	16,4	15,4	15,0
2150	26,9	24,4	22,4	20,7	19,2	17,9	16,8	15,8	15,3
2200	27,5	25,0	22,9	21,1	19,6	18,3	17,2	16,2	15,7

Для вивчення впливу величини вакууму, його величину приймаємо в межах $h=48...52$ кПа, тоді $\eta_m=48...70$ кПа, з кроком 4 кПа.

Частота обертання ротора приймалась в межах від 1000 до 2200 хв^{-1} . Розрахунок проводимо по виразу (2.7), з урахуванням (2.6) та (2.8). Результати зводимо до табл. 2.2.

Графічна інтерпретація отриманих даних представлена на рис. 2.2.

Вплив таких факторів, як перетікання було враховано через використання коефіцієнтів η_m та η_n – манометричного та коефіцієнту заповнення комірки. Проте проведені раніше дослідження вказують на те, що їх вплив на продуктивність має експоненціальний характер.

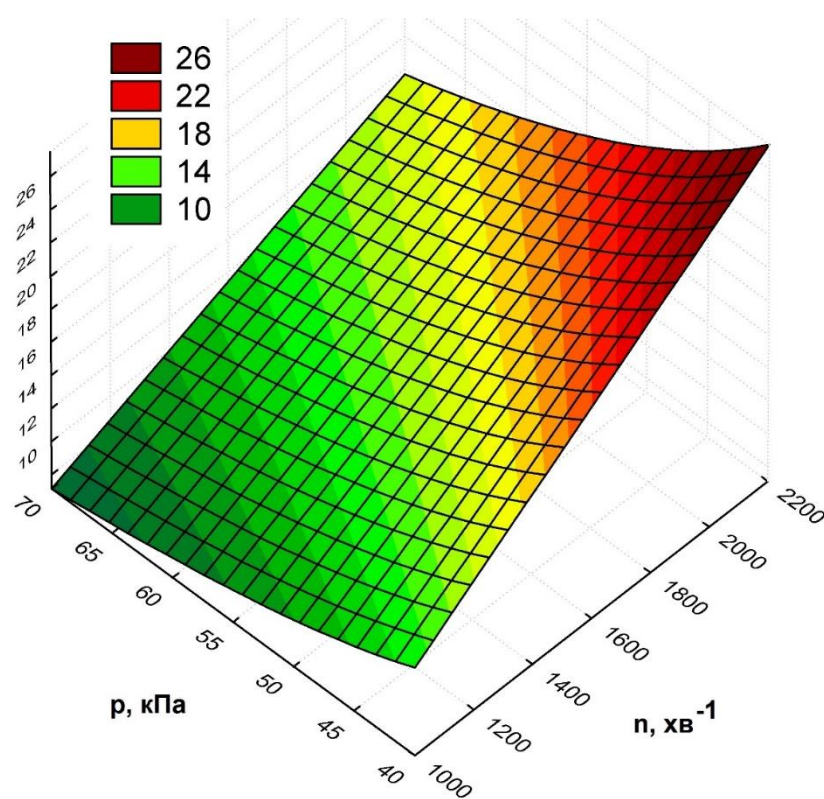


Рисунок 2.2 - Теоретична залежність продуктивності насоса від режимних параметрів

Аналіз залежності, представленої на рис. 2.2 показує лінійний характер залежності продуктивності вакуумного насоса від досліджених факторів. Так, зі збільшенням частоти обертання ротора, продуктивність збільшується, а зі збільшенням величини вакууму - зменшується. Щодо парного впливу, то він має експоненціальну залежність.

Для остаточного вибору режимних параметрів вакуумного насоса, нами було прийнято за доцільне врахувати їх вплив на необхідну потужність.

На основі теоретичного аналізу сил, які виникають в насосі, потужність електродвигуна, споживана приводом вакуумного насоса, визначається по формулі:

$$N = \frac{2\pi n M_{\max}}{\eta_{np}}, \quad (2.31)$$

де h – розрідження вакуумної системи, кПа.

M_{\max} – максимальний крутний момент, обумовлений опором всмоктування, Нм;

η_{np} – ККД вакуумної установки ($\eta_{np} = 0,75 \dots 0,85$) [16].

$$M_{\max} = h \cdot e \cdot D \cdot L = h \cdot 0,07D \cdot D \cdot 1,1D = 0,077h \cdot D^3, \quad (2.32)$$

Як видно з виразів (2.14) та (2.15), потужність в більшій мірі буде залежати від частоти обертання ротору n , рівня вакууму h та D , тому взявши до уваги дані табл. 2.1, проведемо розрахунки для цього режиму. Підставивши у формулу (2.16) раніше прийняті дані, отримаємо:

Тоді

$$N = \frac{2\pi n M_{\max}}{\eta_{np}} = 0,077 \frac{\pi n h D^3}{\eta_{np}}, \quad (2.33)$$

Частота обертання ротора приймалась в межах від 1000 до 2200 хв⁻¹. Розрахунок проводимо по виразу (2,16), з урахуванням (2.14) та (2.15). Результати зводимо до табл. 2.3.

Таблиця 2.2 - Теоретична потужність на привід вакуумного насоса, Вт

Частота обертання ро- тора, хв ⁻¹	Величина вакууму, кПа								
	40	44	48	52	56	60	64	68	70
1000	494,27	543,70	593,13	642,55	691,98	741,41	790,84	840,26	864,98
1050	518,99	570,89	622,78	674,68	726,58	778,48	830,38	882,28	908,23
1100	543,70	598,07	652,44	706,81	761,18	815,55	869,92	924,29	951,48
1150	568,41	625,26	682,10	738,94	795,78	852,62	909,46	966,30	994,72
1200	593,13	652,44	711,75	771,07	830,38	889,69	949,00	1008,32	1037,97
1250	617,84	679,63	741,41	803,19	864,98	926,76	988,55	1050,33	1081,22
1300	642,55	706,81	771,07	835,32	899,58	963,83	1028,09	1092,34	1124,47
1350	667,27	734,00	800,72	867,45	934,18	1000,90	1067,63	1134,36	1167,72
1400	691,98	761,18	830,38	899,58	968,77	1037,97	1107,17	1176,37	1210,97
1450	716,70	788,37	860,03	931,70	1003,37	1075,04	1146,71	1218,38	1254,22
1500	741,41	815,55	889,69	963,83	1037,97	1112,11	1186,26	1260,40	1297,47
1550	766,12	842,74	919,35	995,96	1072,57	1149,18	1225,80	1302,41	1340,72
1600	790,84	869,92	949,00	1028,09	1107,17	1186,26	1265,34	1344,42	1383,96
1650	815,55	897,11	978,66	1060,22	1141,77	1223,33	1304,88	1386,44	1427,21
1700	840,26	924,29	1008,32	1092,34	1176,37	1260,40	1344,42	1428,45	1470,46
1750	864,98	951,48	1037,97	1124,47	1210,97	1297,47	1383,96	1470,46	1513,71
1800	889,69	978,66	1067,63	1156,60	1245,57	1334,54	1423,51	1512,48	1556,96
1850	914,40	1005,85	1097,29	1188,73	1280,17	1371,61	1463,05	1554,49	1600,21
1900	939,12	1033,03	1126,94	1220,85	1314,77	1408,68	1502,59	1596,50	1643,46
1950	963,83	1060,22	1156,60	1252,98	1349,37	1445,75	1542,13	1638,51	1686,71
2000	988,55	1087,40	1186,26	1285,11	1383,96	1482,82	1581,67	1680,53	1729,96
2050	1013,26	1114,59	1215,91	1317,24	1418,56	1519,89	1621,22	1722,54	1773,20
2100	1037,97	1141,77	1245,57	1349,37	1453,16	1556,96	1660,76	1764,55	1816,45
2150	1062,69	1168,96	1275,22	1381,49	1487,76	1594,03	1700,30	1806,57	1859,70
2200	1087,40	1196,14	1304,88	1413,62	1522,36	1631,10	1739,84	1848,58	1902,95

Графічна інтерпретація отриманих даних представлена на рис. 2.7.

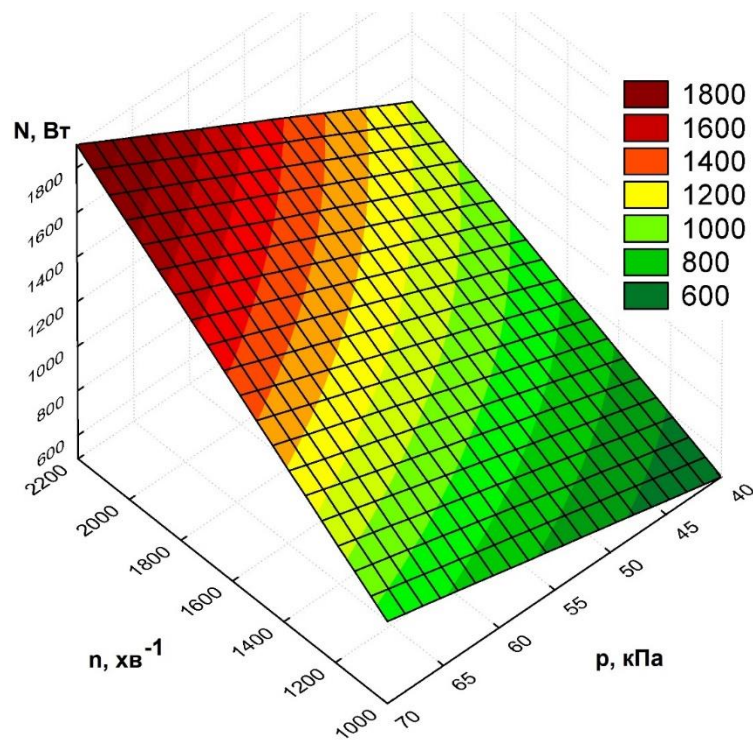


Рисунок 2.7 - Теоретична залежність потужності насоса від режимних параметрів

2.4 Висновки

В даному розділі було отримано наступне:

- проведено аналіз теоретичних закономірностей визначення продуктивності та потужності вакуумного насоса;
- виходячи з аналізу, визначено основні фактори, які впливають на продуктивність та потужність насоса;
- теоретично досліджено залежність продуктивності та потужності насоса від режимних параметрів його роботи.

3 Результати стендових випробувань вакуумного насоса

3.1 Матеріальне забезпечення

Експериментальні дослідження проводилися на базі лабораторії кафедри механізації виробничих процесів у тваринництві на експериментальному стенді, що складався з експериментального зразка ротаційного пластинчатого вакуумного насоса, устаткування для зміни параметрів робочого процесу (блок керування з частотним регулятором Danfoss) та контрольно-вимірювальної апаратури (витратомір КИ-4840М і персонального комп'ютера з встановленим програмним забезпеченням). Ротаційний пластинчатий вакуумний насос, виконаний у відповідності до патенту України № 46831.

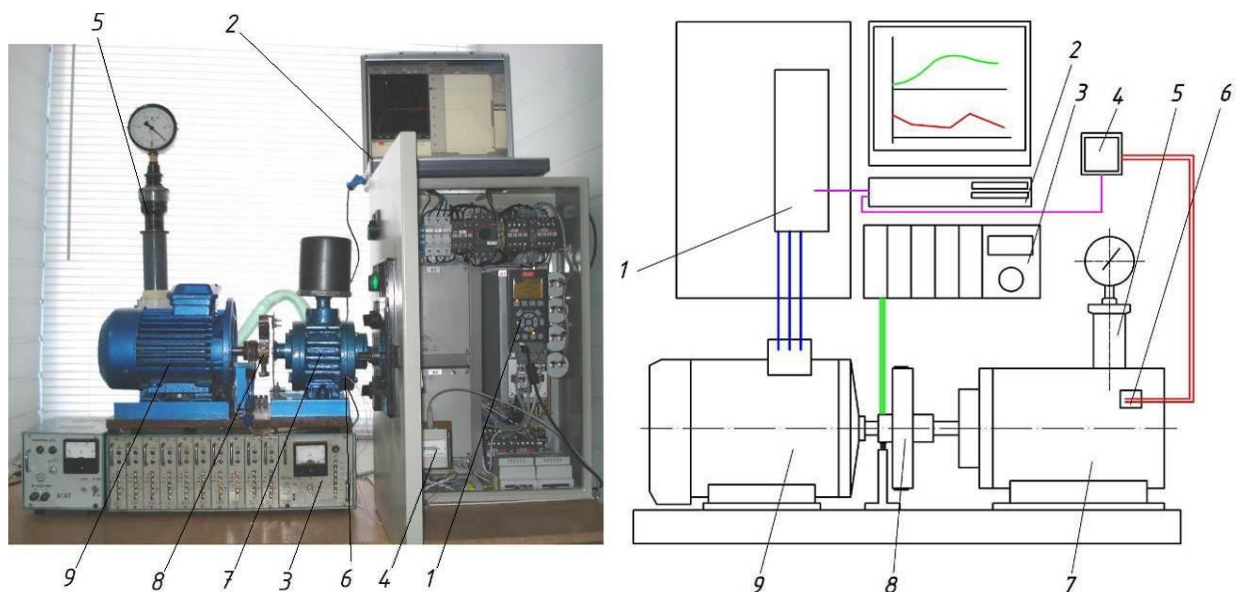


Рисунок 3.1 - Загальний вигляд (а) та схема (б) експериментального стенду для досліджень розробленого вакуумного насоса: 1 – частотний регулятор Danfoss; 2 – персональний комп'ютер; 3 – тензопідсилювач «Топаз-3-01»; 4 – аналогово-цифровий перетворювач NU 6008; 5 – витратомір КИ-4840М; 6 – ХА-термопара; 7 – експериментальний вакуумний насос; 8 – тензOMETричний моментомір; 9 – електродвигун 4Д71В2СУ1

Схема та загальний вигляд експериментального стенду для досліджень розробленого вакуумного насоса представлено на рисунку 3.1.

3.2 Постановка експерименту

3.2.1 Вибір математичної моделі

Ведемо фактори q_1, q_2, \dots, q_n , що впливають на показники якості і ефективності. Математичну модель, що зв'язує величину показника (Π) з досліджуваними факторами (q_i), зручно прийняти у вигляді:

$$\Pi = \alpha_0 \cdot \prod_{i=1}^n q_i^{\alpha_i}, \quad (3.1)$$

де α_0 – постійний коефіцієнт; α_i – показник ступеня.

Величини α_i і α_0 визначають за результатами спеціальних багатofакторних дослідів, (випробувань). Якщо фактори q_i і їх поєднання можна перед проведенням дослідів задати в деякому діапазоні сповна ясно і незалежно (а в деяких технічних дослідіах це можливо далеко не завжди) то доцільно попередньо спланувати такі досліді, керуючись визначеними правилами, котрі підвищують інформативність і точність отриманих результатів і полегшують їх послідуєє опрацювання.

Після логарифмування (3.1) отримуємо лінеаризовану функцію

$$\ln \alpha = \ln \alpha_0 + \sum_{i=1}^n \alpha_i \cdot \ln q_i. \quad (3.2)$$

Для кожного фактора q_i обирається два рівня варіювання при випробуваннях q_{imin} та q_{imax} . Після цього переходимо до так званих кодованих факторів q_i , які зв'язані з реальними факторами співвідношенням:

$$x_i = \frac{2(\ln q_i - \ln q_{i_{\max}})}{\ln q_{i_{\max}} - \ln q_{i_{\min}}} + 1, i=1, 2, \dots, n.$$

Кодування факторів здійснюється для подальшого планування дослідів. На верхньому та нижньому рівнях варіювання реальних факторів кодовані безрозмірні фактори приймають значення +1 і -1 відповідно. Для випадку двох варіюваних факторів q_1 , і q_2 відповідність між ними і кодованими величинами x_1 , і x_2 вказано на рис. 3.6. Введемо позначення $y = \ln a$ і перепишемо (3.2), використовуючи кодовані фактори x_i , у вигляді:

$$y = \epsilon_0 + \sum_{i=1}^n \epsilon_i \cdot x_i, \quad (3.3)$$

$$\text{де } \epsilon_0 = \ln a_0 + \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n \alpha_i (\ln q_{i_{\max}} + \ln q_{i_{\min}}); \quad \epsilon_i = \frac{\alpha_i}{2} (\ln q_{i_{\max}} - \ln q_{i_{\min}}); \quad i=1, 2, \dots, n$$

У випадку невеликої кількості досліджуваних факторів (2 чи 3) реальним є проведення випробувань по схемі повного факторного досліді, при якому проводиться серія випробувань, що містить усі можливі не повторювані комбінації значень факторів на двох рівнях. В табл. 3.1 приведено план повного трьох факторного досліді. Тут також виділено штриховою лінією план повного досліді для двох факторів. На рис. 3.2 вказані точки такого плану в просторі кодованих факторів.

Таблиця 3.1 - План повного факторного досліді

№ досліді	x_1	x_2	q_1	q_2	y
1		-1	q_{1min}	q_{2min}	y_1
2	+1	-1	q_{1max}	q_{2min}	y_2
3	-1	+1	q_{1min}	q_{2max}	y_3
4	+1	+1	q_{1max}	q_{2max}	y_4

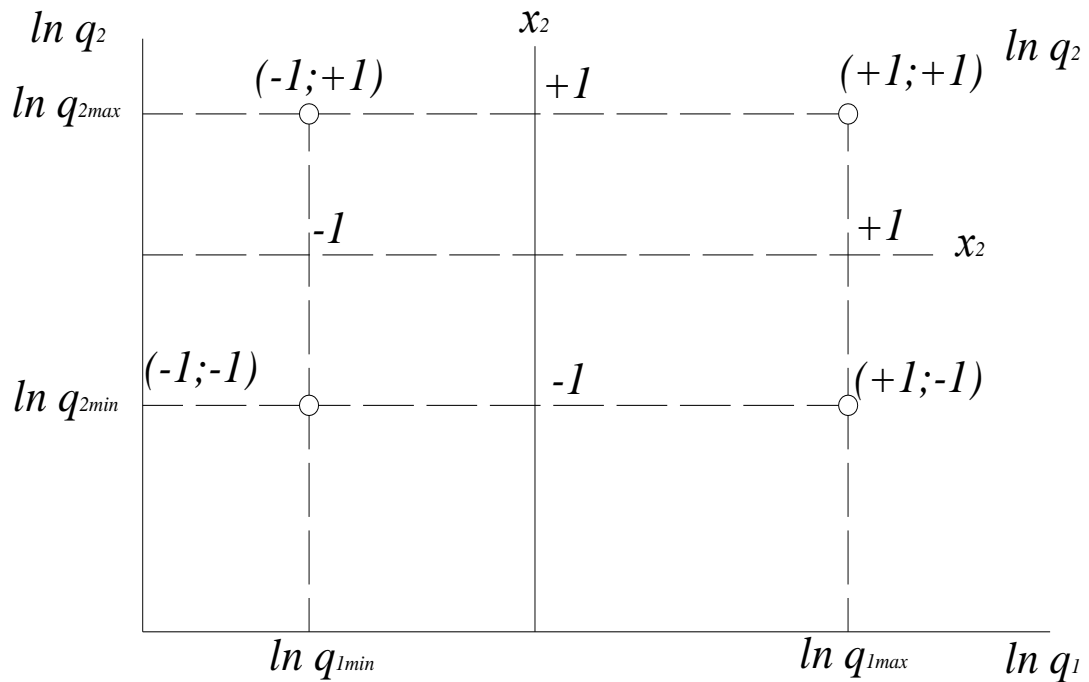


Рисунок 3.2 - Відповідність між натуральними і кодованими факторами і точки плану повного факторного дослідження.

Загальна мінімальна кількість дослідів N при повному факторному експерименті складає 2^n . Але для того, щоб можна було перевірити статистичну достовірність отриманих в результаті дослідів значень параметрів a_0 та α_i , необхідно кожен запланований дослід повторити не менше двох разів (провести паралельні дослідження).

Отже, фактична мінімальна кількість випробувань зразків при такій реалізації повного двофакторного експерименту дорівнює 8.

Повторивши кожен з дослідів K раз і отримавши відповідне значення досліджуваної величини y_1, y_2, y_k , знаходять її середнє значення $\bar{y} = \frac{1}{K} \sum_{i=1}^K y_i$. Після проведення усіх передбачених планом дослідів оцінюють величини коефіцієнтів ϵ_i виразу (3.3) за формулами:

$$\epsilon_0 = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N \bar{y}_j; \quad \epsilon_i = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N x_{ij} \cdot \bar{y}_j, \quad i = 1, 2, \dots, n$$

де j – номер дослідю.

$$\alpha_i = \frac{2\epsilon_i}{\ln q_{i\max} - \ln q_{i\min}}; \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (3.4)$$

$$\alpha_0 = \exp \left[\epsilon_0 - \sum_{i=1}^n \frac{\epsilon_i (\ln q_{i\max} + \ln q_{i\min})}{\ln q_{i\max} + \ln q_{i\min}} \right] \quad (3.5)$$

Для встановлення значимості коефіцієнтів ϵ_i для кожної серії із результатів K паралельних випробувань обчислюють оцінки дисперсій:

$$s_j^2 = \frac{1}{K-1} \sum_{i=1}^K (y_{ij} - \bar{y}_j)^2, \quad j = 1, 2, \dots, N \quad (3.6)$$

Потім усереднюємо ці оцінки:

$$S_y^2 = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N S_j^2, \quad (3.7)$$

і визначають дисперсії середнього значення:

$$S_y^2 = \frac{S_y^2}{K}, \quad (3.8)$$

а також кількість степенів свободи $f_1 = N(K-1)$.

Оцінку середнього квадратичного відхилення при визначенні всіх коефіцієнтів ϵ_i визначають за формулою:

$$S_{\epsilon} = \frac{S_{\bar{y}}}{\sqrt{N}}. \quad (3.9)$$

За оцінкою значимості коефіцієнтів ϵ_i для кожного із них перевіряють виконуваність умов:

$$|\epsilon_i| > S_{\epsilon} \cdot t_p, \quad i = 0, 1, \dots, n,$$

де t_p - значення критерію Стюдента для кількості степенів свободи f_i і вибраної довірчої імовірності P .

Якщо якийсь із коефіцієнтів ϵ_i незначний (тобто не відповідає наведеній вище умові), то його величиною можна знехтувати. Отже, відповідний фактор q_i практично не впливає на величину параметра α_0, α_i і його можна виключити з виразу (3.2).

Окрім оцінки значимості коефіцієнтів ϵ_i , проводять також перевірку адекватності (відповідності) виразу (3.3) до результатів випробувань. Для цього вираховують оцінку дисперсії адекватності за формулою:

$$S_{ad}^2 = \frac{1}{f_2} \sum_{j=1}^N (\bar{y}_j - y_{jp})^2, \quad (3.10)$$

Де $f_2 = N - n - 1$ число степеня вільності

y_{jp} - значення величини y , обчисленого за формулою (3.3) для умов j -го досліду.

Потім обчислюють величину:

$$F_p = \frac{S_{ad}^2}{S_y^2}, \quad \text{якщо } S_{ad} > S_{\bar{y}}; \quad F_p = \frac{S_y^2}{S_{ad}^2}, \quad \text{якщо } S_{\bar{y}} > S_{ad};$$

і перевіряють умову адекватності:

$$F_p < F,$$

де F – значення критерію Фішера [35], що відповідають числам ступенів свободи f_1 та f_2 .

Якщо умова адекватності не виконується, то це значить, що вибрана форма залежностей (3.3) та (3.1) не відповідає результатам випробувань.

3.2.2 Планування експерименту

В нашому випадку досліджується залежність реальної продуктивності вакуумного насоса Q від двох режимних (див. п. 2.2) факторів: частоти обертання ротору n (q_1) та вакууму p (q_2).

Математичну модель, яка зв'язує величину показника (Π) з факторами, що досліджуються, приймаємо у вигляді (3.1). Тоді для нашого випадку рівняння (3.1) прийме вигляд:

$$Q = \alpha_0 \cdot n^{\alpha_1} \cdot p^{\alpha_2}, \quad (3.11)$$

3.3 Результати досліджень

Для оцінки конкретних значень параметрів α_0 , α_1 та α_2 проведена серія випробувань, при яких реалізовано план повного двофакторного експерименту. Для визначення критичного значення частоти обертання ротора (верхнього рівня фактора) нами було проведено дослідження зміни температури статора після виходу на режим при різних частотах обертання ротора (рис. 3.3).

Максимальне значення частоти обертання ротора обмежується температурою в зоні контакту пластина – статор, яка після виходу на сталий режим повинна знаходитись в інтервалі 80...90 °С. Як свідчить графічна залежність, приведена на рис. 3.3, ці межі досягаються при частоті обертання ротору 1800

об/хв., хоча насос продовжує працювати і при частоті обертання 2200 об/хв., що, вочевидь, можна пояснити високою термостійкістю матеріалу пластин – до 200°C.

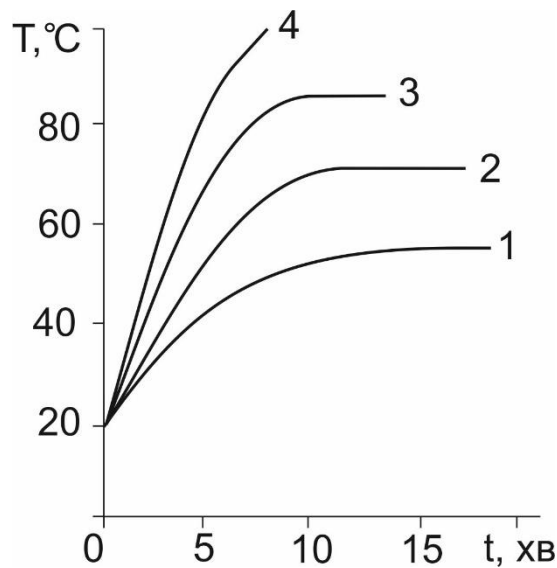


Рисунок 3.3 - Час виходу на режимну температуру: 1 - 1000 об/хв.; 2 - 1400 об/хв.; 3 - 1800 об/хв.; 4 - 2200 об/хв

План випробувань, вихідні дані про рівні факторів і результати випробувань приведено в табл. 3.2. Кожен дослід плану повторювався двічі, відповідно було отримано значення Q_1 та Q_2 .

Таблиця 3.2 - Рівні факторів та результати досліджень

№ дос-ліду	x_1	x_2	n , об ⁻¹	p , кПа	Q_1 , м ³ /год	Q_2 , м ³ /год
1	-1	-1	1000	40	9,9	10,1
2	+1	-1	2200	40	18	18,2
3	-1	+1	1000	70	5,6	5,8
4	+1	+1	2200	70	9,5	9,7

Для кожного фактора q_i обирається два рівня варіювання при випробуваннях q_{imin} та q_{imax} . Після цього переходимо до так званих кодованих факторів q_i , які зв'язані з реальними факторами співвідношенням (3.2).

Отримані після логарифмування данні та деякі результати наступних розрахунків приводяться в табл. 3.3.

Таблиця 3.3 - Результати розрахунків при обробці даних

№ дос.	$\ln n$	$\ln p$	$y_{1j}=\ln Q_1$	$y_{2j}=\ln Q_2$	\bar{y}_j	S_j^2	$(y_{jp}-\bar{y}_j)^2$
1	6,907	3,871	2,292535	2,312535	2,3025	0,0002000	$3,24 \times 10^{-04}$
2	7,438	3,871	2,890372	2,901422	2,8958	0,0000612	$3,24 \times 10^{-04}$
3	6,907	4,248	1,722767	1,757858	1,7403	0,0006157	$4,68 \times 10^{-05}$
4	7,438	4,248	2,251292	2,272126	2,2617	0,0002170	$3,24 \times 10^{-04}$

Після оцінки середнього значення результатів паралельних випробувань в кожному досліді \bar{y}_j визначаємо коефіцієнти ϵ_i лінеаризованої залежності (3.3):

$$\epsilon_0 = \frac{1}{4}(2,3025 + 2,8958 + 1,7403 + 2,2617) = 2,3001;$$

$$\epsilon_1 = \frac{1}{4}(-2,3025 + 2,8958 - 1,7403 + 2,2617) = 0,2786$$

$$\epsilon_2 = \frac{1}{4}(-2,3025 - 2,8958 + 1,7403 + 2,2617) = -0,2991$$

Після цього визначаємо параметри вихідного виразу (3.4, 3.5):

$$\alpha_1 = \frac{2 \cdot 0,2786}{(7,438 - 6,907)} = 1,05;$$

$$\alpha_2 = \frac{2 \cdot (-0,2991)}{(4,248 - 3,871)} = -1,5855;$$

$$\alpha_0 = \exp \left[2,3001 - 0,2786 \cdot \frac{7,438 + 6,907}{7,438 - 6,907} + -0,2991 \cdot \frac{4,248 + 3,871}{4,248 - 3,871} \right] = 3,32799.$$

Відповідно, знайдена за результатами випробувань залежність продуктивності насоса Q від частоти обертання ротору n та вакууму p має вигляд:

$$Q = 3,3279 \cdot n^{1,05} \cdot p^{-1,5855}, \quad (3.12)$$

Залишається перевірити статистичну значимість коефіцієнтів α_1 та α_2 та адекватність всього отриманого виразу результатам випробувань. Для перевірки значимості обчислюємо оцінки дисперсій результатів паралельних дослідів (3.6)

Результати розрахунків заносимо до табл. 3.3

Після цього усереднюємо оцінки (3.7):

$$S_j^2 = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N S_j^2 = \frac{1}{4} (0,00020001 + 0,000061 + 0,000615 + 0,000217) = 0,000273$$

і визначаємо оцінку дисперсії середнього значення (3.8):

$$S_y^2 = \frac{S_y^2}{K} = \frac{0,000273}{2} = 0,000137$$

а також число ступенів свободи:

$$f_{\bar{y}} = N \cdot (K - 1) = 4 \cdot (2 - 1) = 4$$

Оцінку середнього квадратичного відхилення при визначенні всіх коефіцієнтів v_i розраховуємо за формулою (3.9)

$$S_{\hat{a}} = \sqrt{\frac{S_y^2}{N}} = \sqrt{\frac{0,000137}{4}} = 0,005846$$

При оцінюванні значимості коефіцієнтів ϵ_i для кожного з них перевіряємо виконання умов:

$$|\epsilon_i| > S_{\epsilon} \cdot t_p, i = 0, 1 \dots n$$

де t_p – значення критерію Ст'юдента для числа ступенів свободи f_l та вибраної довірчої ймовірності P . При числі ступенів свободи 4 та довірчій ймовірності 0,95 по таблицям знаходимо значення критерію Ст'юдента $t_p=2,78$. Відповідно

$$S_{\epsilon} \cdot t_p = 0,005846 \cdot 2,78 = 0,016253.$$

Беручи до уваги те, що коефіцієнти ϵ_0 , ϵ_1 та ϵ_2 за абсолютною величиною більші за 0,0143, їх можна вважати значимими.

Для перевірки адекватності за допомогою виразу

$$y = 2,3001 + 0,2787 \cdot x_1 - 0,29917 \cdot x_2,$$

Визначасмо для умов кожного дослід (у відповідності до плану) розрахункові значення величини y .

$$y_{1\delta} = 2,3001 - 0,2787 + 0,2991 = 2,3205;$$

$$y_{2\delta} = 2,3001 + 0,2787 + 0,2991 = 2,8779;$$

$$y_{3\delta} = 2,3001 - 0,2787 - 0,2991 = 1,7472;$$

$$y_{4\delta} = 2,3001 + 0,2787 - 0,2991 = 2,2797.$$

Після цього обчислюємо квадрати різниць $(y_{jp} - \bar{y}_j)^2$, значення яких заносимо в табл. 3.3 та оцінку дисперсії адекватності S_{ad}^2 , яка відповідає числу ступенів свободи:

$$f_{\bar{y}} = N - n - 1 = 4 - 2 - 1 = 1,$$

$$S_{ad}^2 = \frac{1}{f_2} \sum_{j=1}^N (\bar{y}_j - y_{jp})^2 = 0,001018$$

Після цього за умови, що $S_{ad}^2 > S_y^2$ розраховуємо величину:

$$F_p = \frac{S_{ad}^2}{S_y^2} = \frac{0,001018}{0,000137} = 7,444. \quad (3.13)$$

Зважаючи на те, що значення критерію Фішера для рівня значимості 5% та чисел ступенів свободи чисельника 1 та знаменника 4 складає $F_4^1 = 7,71$, і як витікає $F_p < F_4^1$, умову адекватності виконано.

Отже, отримана математична модель цілком адекватно відображає залежність продуктивності насоса від режимних факторів, графічне відображення якої приведено на рис. 3.4.

Аналіз залежності, представленої на рис. 3.4 показує лінійний характер залежності продуктивності вакуумного насоса від досліджених факторів. Так, зі збільшенням частоти обертання ротора, продуктивність збільшується, а зі збільшенням величини вакууму - зменшується.

За аналогічною методикою проводимо дослідження залежності потужності на привід насоса від перерахованих факторів. Рівні факторів, результати досліджень та результати обробки даних заносимо до табл. 3.4, 3.5.

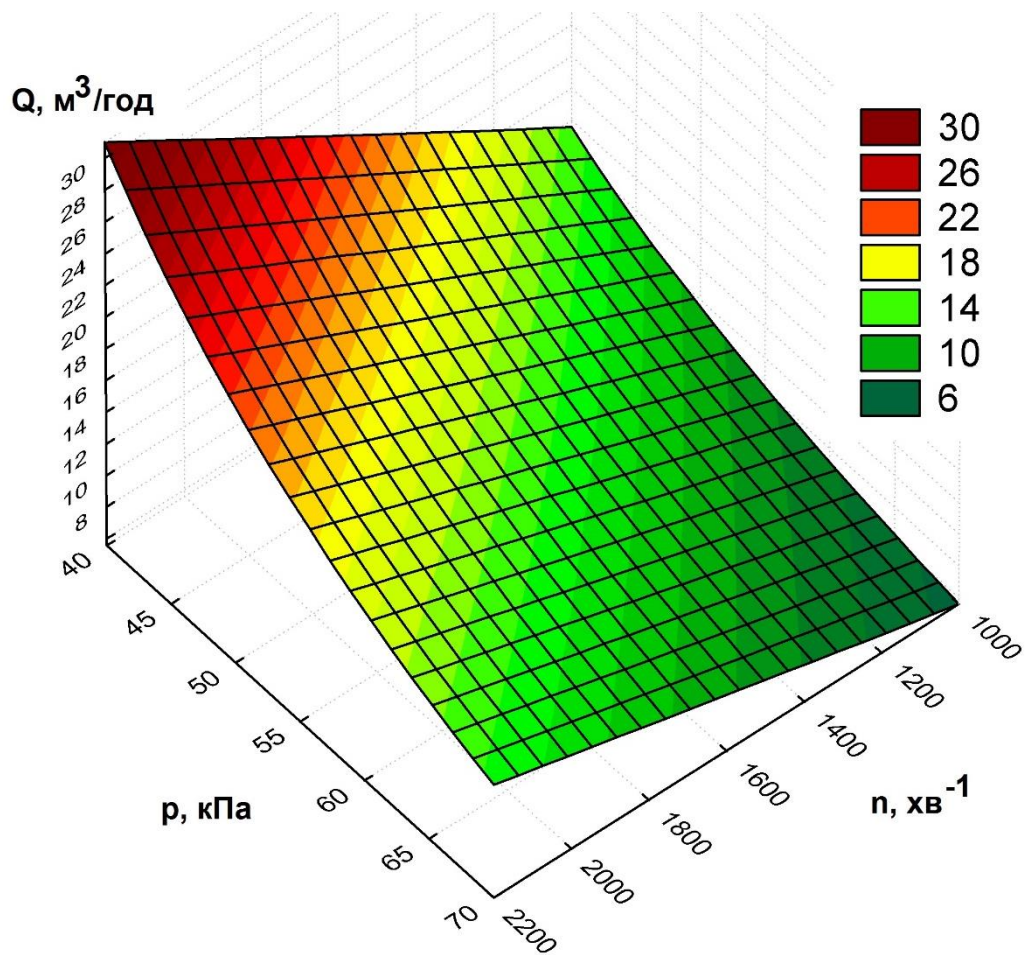


Рисунок 3.4 - Залежність продуктивності вакуумного насоса від частоти обертання ротора та вакууму

Таблиця 3.4 - Рівні факторів та результати досліджень

№ дос-ліду	x_1	x_2	n , об ⁻¹	p , кПа	N_1 , Вт	N_2 , Вт
1	-1	-1	1000	48	530	550
2	+1	-1	1700	48	1000	1100
3	-1	+1	1000	70	830	790
4	+1	+1	1700	70	1410	1440

Отримані після логарифмування данні та деякі результати наступних розрахунків приводяться в табл. 3.5.

Таблиця 3.5 - Результати розрахунків при обробці даних

№ дос.	$\ln n$	$\ln p$	$y_{1j}=\ln N_1$	$y_{2j}=\ln N_2$	\bar{y}_j	S_j^2	$(y_{jp}-\bar{y}_j)^2$
1	6,91	3,87	6,27	6,31	6,29	0,0006860	0,0006110
2	7,44	3,87	6,91	7,00	6,96	0,0045420	0,0006110
3	6,91	4,25	6,72	6,67	6,70	0,0012198	0,0006110
4	7,44	4,25	7,25	7,27	7,26	0,0002216	0,0006110

Використовуючи залежності 3.1 – 3.5 отримуємо математичну модель, яка описує залежність потужності на привід насоса від режимних параметрів:

$$N = 0,0048 \cdot n^{1,15} \cdot p^{0,94}, \quad (3.14)$$

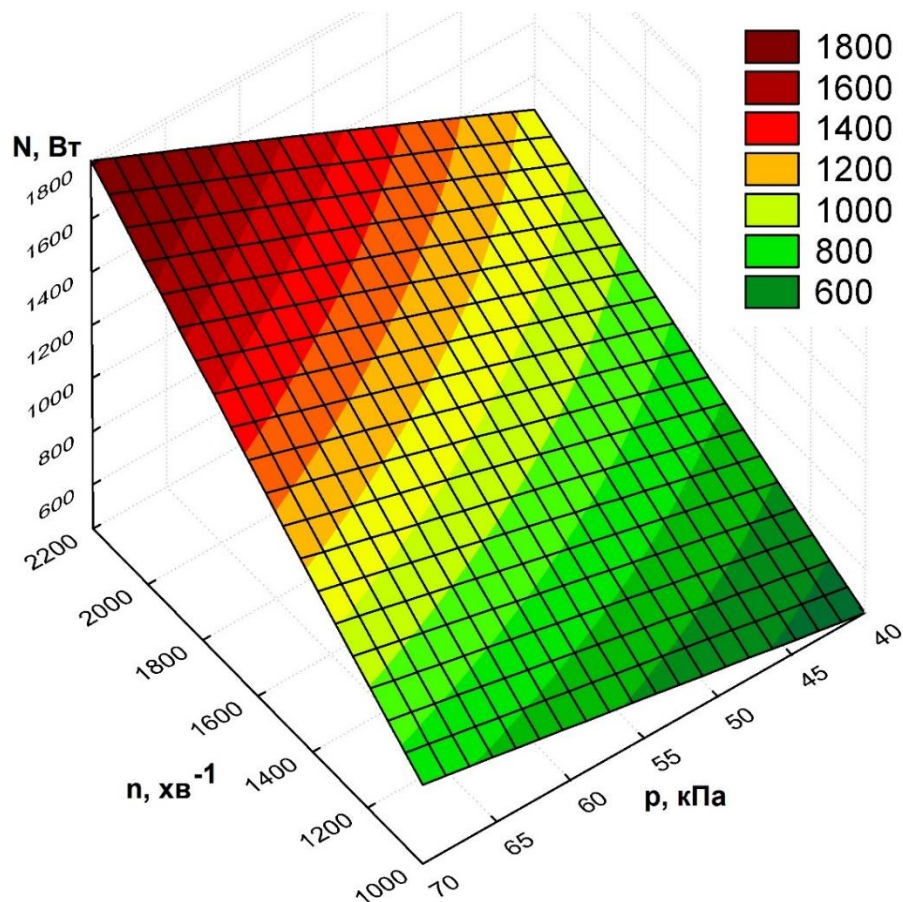


Рисунок 3.5 - Залежність потужності на привід вакуумного насоса від частоти обертання ротора та вакууму

Перевірка отриманої моделі за критеріями Ст'юдента та Фішера показала, що отримана математична модель цілком адекватно відображає залежність потужності насоса від режимних факторів, графічне відображення якої приведено на рис. 3.5.

3.4 Аналіз проведених досліджень

З метою перевірки теоретичних даних отриманих у розділі 2, нами було проведено порівняння отриманих даних з тими що отримано в результаті планування експерименту.

Для цього зведемо на один графік залежності продуктивності вакуумного насоса, які було отримано теоретично та під час постановки експерименту (рис. 3.6).

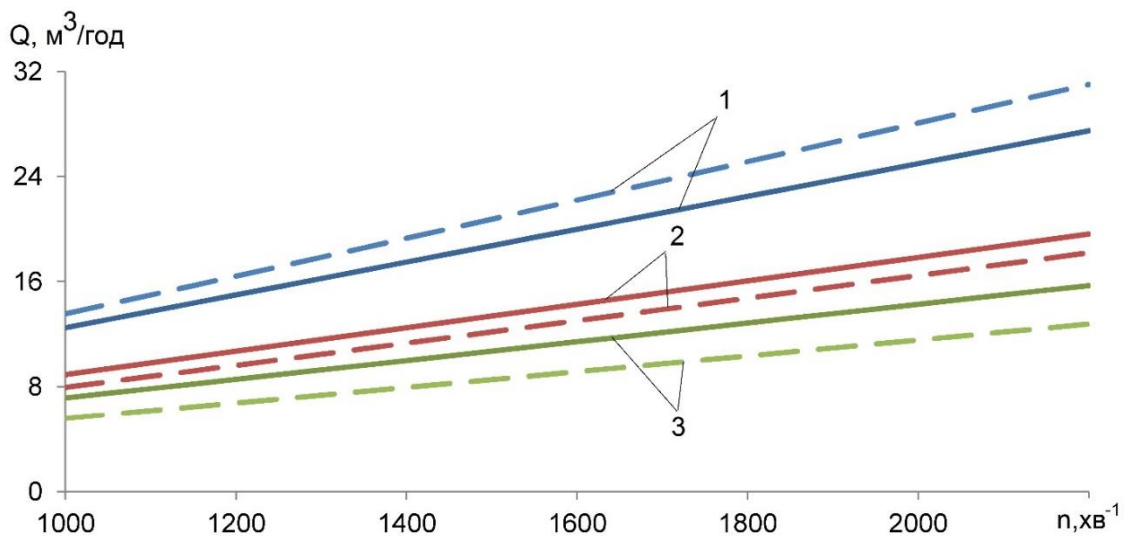


Рисунок 3.6 – Залежність теоретичної (-) та експериментальної (- - -) продуктивності вакуумного насоса від частоти обертання ротора при вакуумі 1- 40, 2 - 56, 3 -70 кПа

Як видно з рис. 3.6 теоретично отримані дані мають аналогічний до досліджених експериментально показників характер, середнє відхилення отриманих даних складає 12 %, що є досить високий показник для такого роду випробувань.

Залежність продуктивності вакуумного насоса від величини вакууму, які було отримано теоретично та під час постановки експерименту (рис. 3.6).

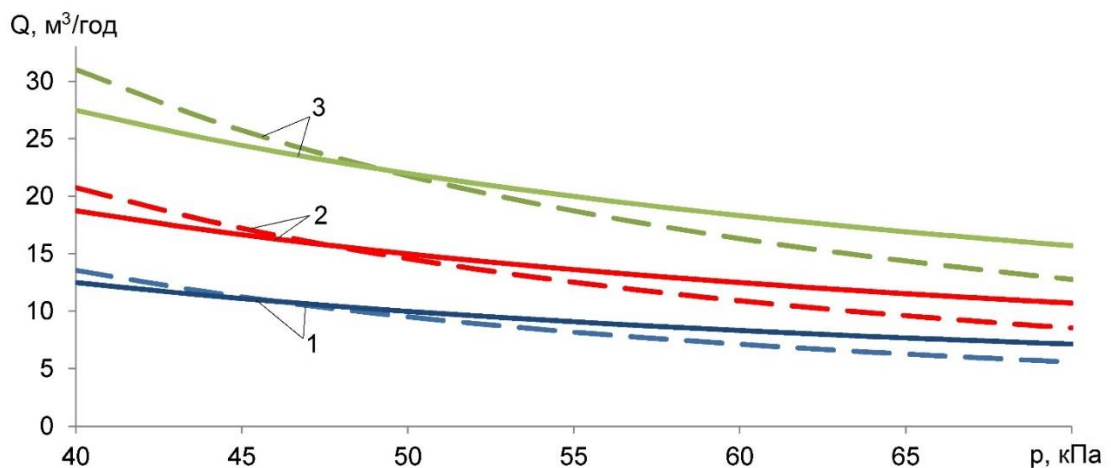


Рисунок 3.7 – Залежність теоретичної (—) та експериментальної (- - -) продуктивності вакуумного насоса від вакууму при частоті обертання ротора: 1 – 1000 хв⁻¹; 2 - 1500 хв⁻¹; 3 - 2200 хв⁻¹

Як показав аналіз отриманих залежностей (рис. 3.7), кореляція даних просліджується і в цьому випадку. Єдине, що можна відмітити, це те, що теоретичні дані мають лінійний характер, а одержані в ході експерименту, експоненціальний. Це підтверджує висунуте вище припущення про те, що внутрішні перетікання в насосі будуть впливати на його продуктивність не лінійно.

Залежність потужності на привід від частоти обертання при сталому значенні вакууму приведено на рис 3.8.

З залежностей просліджується, що зі збільшенням значення вакууму різниця між експериментальними та теоретично отриманими значеннями потужності збільшується. На нашу думку це пов'язано зі збільшенням впливу манометричного коефіцієнта та збільшенням жорсткості роботи насоса.

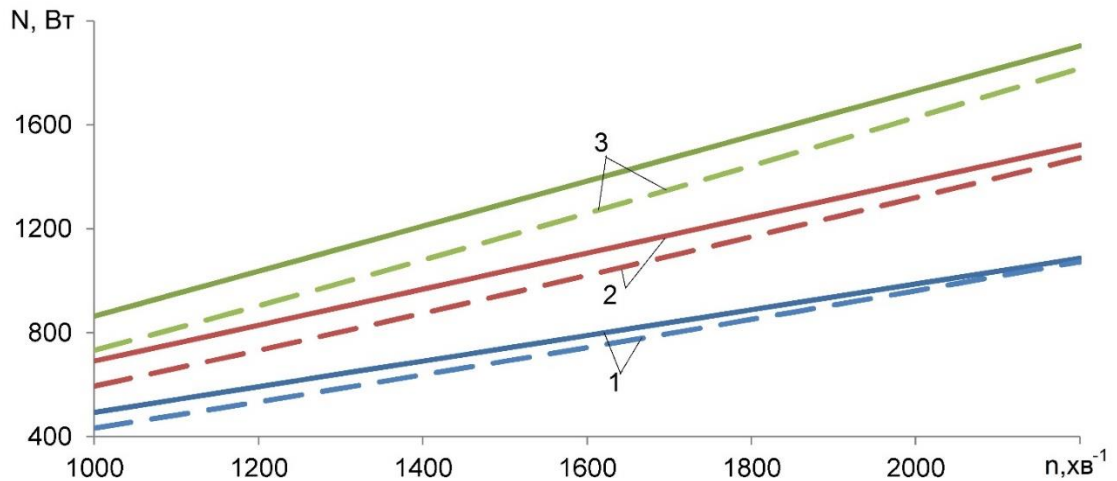


Рисунок 3.8 – Залежність теоретичної (—) та експериментальної (- - -) потужності вакуумного насоса від частоти обертання ротора при вакуумі: 1- 40; 2 – 56; 3 -70 кПа

На рис. 3.9. приведено залежність потужності вакуумного насоса від величини вакууму, які було отримано теоретично та під час постановки експерименту.

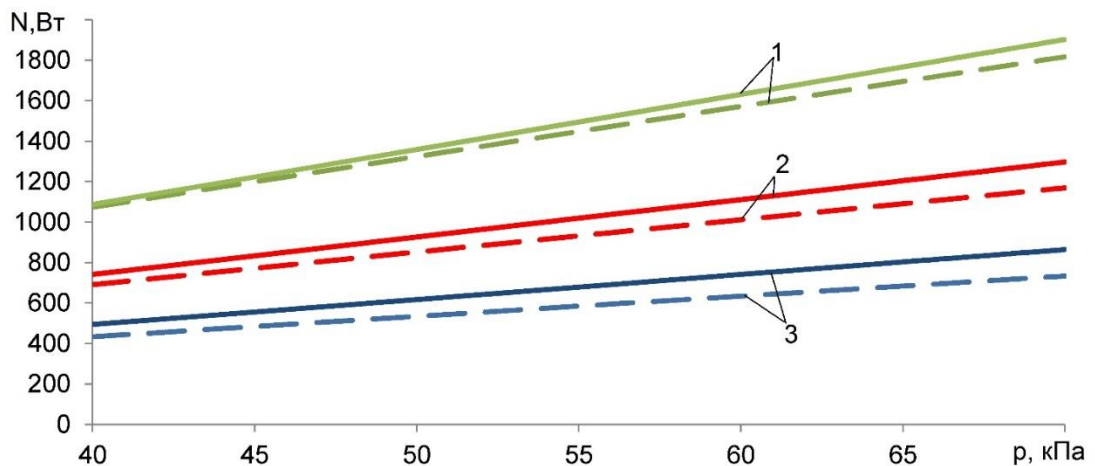


Рисунок 3.9 – Залежність теоретичної (—) та експериментальної (- - -) потужності вакуумного насоса від вакууму при частоті обертання ротора: 1 – 1000 хв^{-1} ; 2 - 1500 хв^{-1} ; 3 - 2200 хв^{-1}

Як і слід було очікувати, характер залежностей близький до лінійного, а зі збільшенням вакууму різниця між теоретичними та експериментальними даними збільшується.

3.5 Оптимізація режимних параметрів вакуумного насоса

Для визначення оптимальних режимних параметрів використаємо критерії оптимізації:

- питому енергоємність роботи насоса q , яку розрахуємо за формулою

$$q = \frac{N}{Q}, \quad (3.15)$$

де q – питома енергоємність роботи насоса, (кВт·год)/м³;

N - потужність на привід вакуумного насоса, кВт;

Q – продуктивність вакуумного насоса, м³/год.

- коефіцієнт відкачування λ :

$$\lambda = \frac{Q_m}{Q_e}, \quad (3.16)$$

де Q_r – геометрична продуктивність вакуумного насоса, м³/год;

Q_e – експериментальна продуктивність вакуумного насоса, м³/год;

Для кращого сприйняття результатів, побудуємо графічні залежності зазначених вище критеріїв (рис. 3.10 та 3.11).

З рис. 3.10 та 3.11 можна зробити висновок, що для обох показників спостерігаються чітко виділені зони оптимуму: коефіцієнт подачі стрімко зростає до значення 1600 хв⁻¹, після чого стабілізується на максимальному рівні. Це пов'язано зі стабілізацією втрат через внутрішні перетікання повітря в насосі. Питома енергоємність в інтервалі 1700 - 1900 хв⁻¹, навпаки, має мінімальні показники, після чого починає зростати.

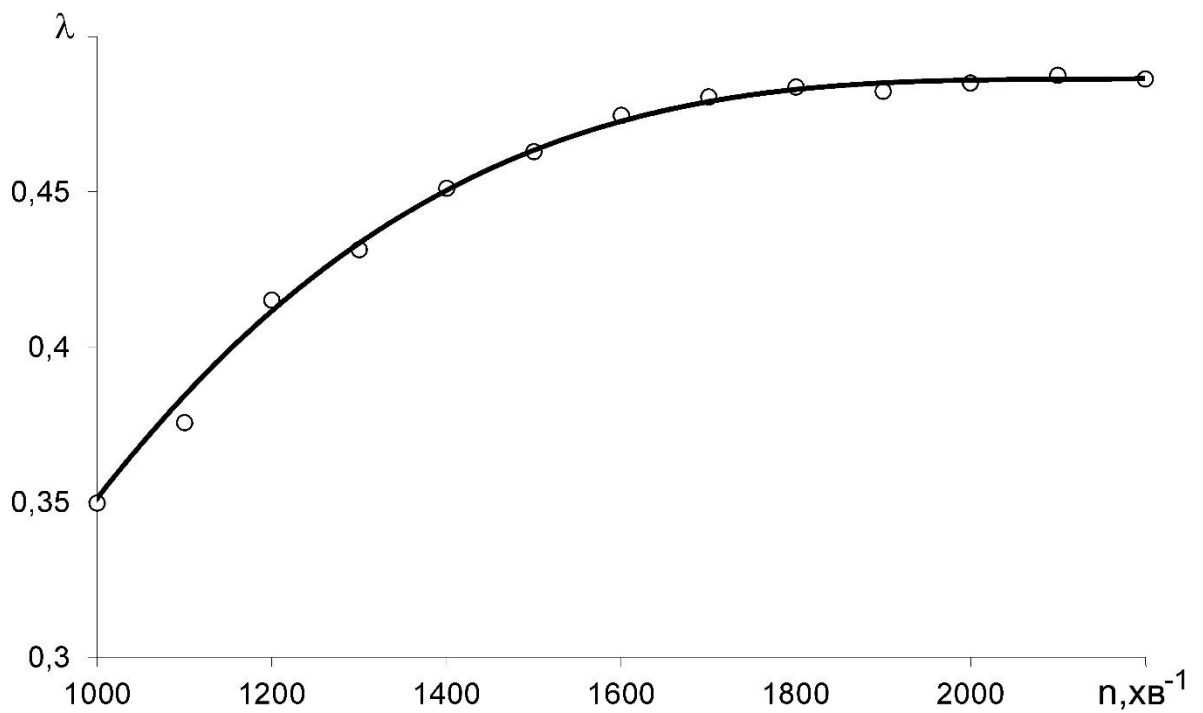


Рисунок 3.10 – Залежність коефіцієнту відкачування від частоти обертання ротора при робочому вакуумі 47 кПа

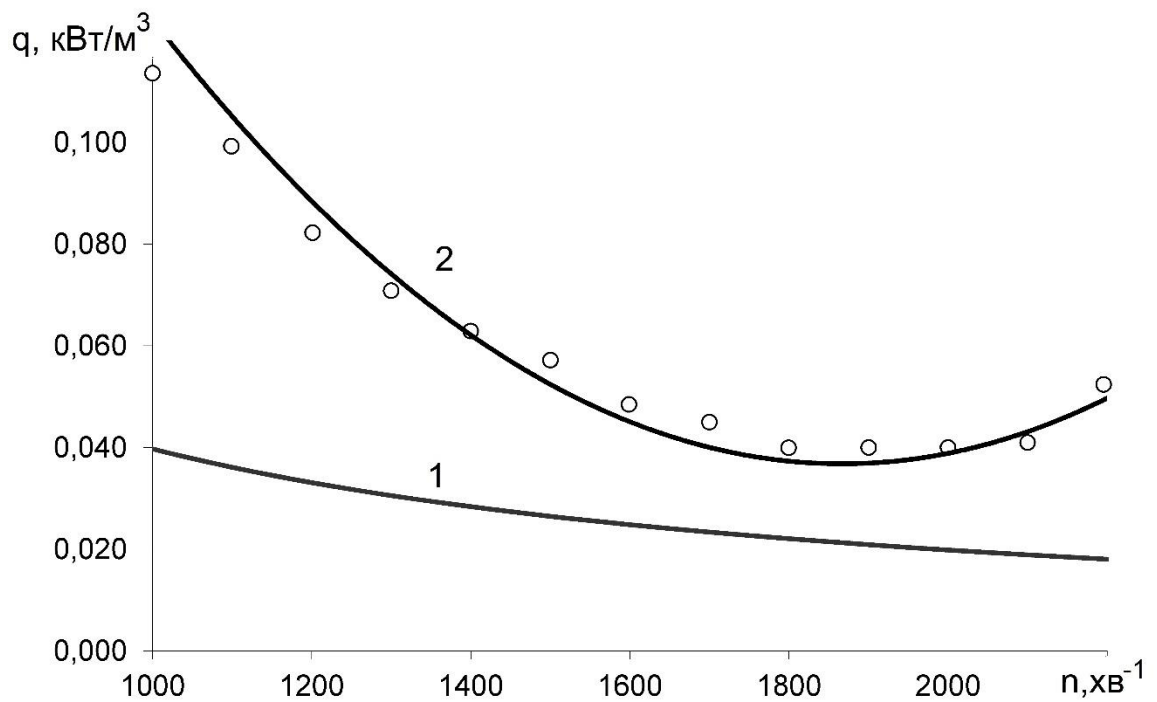


Рисунок 3.11 – Залежність теоретичної (1) та експериментальної (2) питомої енергоємності від частоти обертання ротора при робочому вакуумі 47 кПа

3.6 Висновки

В даному розділі було отримано наступні результати:

- проведено вибір математичної моделі залежності продуктивності та потужності на привід від режимних параметрів вакуумного насоса;
- на основі обраної моделі було проведено планування експерименту та проведення стендових досліджень вакуумного насоса;
- частота обертання ротора обмежується температурою статора після виходу на режим на рівні 1800 хв^{-1} ;
- отримано математичні моделі продуктивності вакуумного насоса та потужності на привід від цих факторів, адекватність моделей перевірено за критеріями Ст'юдента і Фішера;
- коефіцієнт кореляції теоретичних та експериментальних даних склав 0,87;
- за критерії оптимізації було прийнято питому енергоємність та коефіцієнт відкачування. Їх аналіз показав, що оптимальна частота обертання ротора насоса знаходиться в діапазоні $1700 - 1900 \text{ хв}^{-1}$;
- для забезпечення вказаного діапазону частот обертання використаємо електродвигуном ЭЛРЕ ДАР56А2 з робочою частотою обертання 2800 хв^{-1} та потужністю 0,75 кВт,

4 Охорона праці

4.1 Загальні вимоги

Загальні вимоги охорони праці при доїнні корів в Україні визначаються Законом України "Про охорону праці" та іншими нормативно-правовими актами, зокрема:

Правилами охорони праці у тваринництві. Велика рогата худоба (НПАОП 0.00-1.20-08);

Санітарними нормами та правилами для підприємств, установ та організацій, які виробляють, зберігають і реалізують комбікорми (ДСанПіН 2.3.4.009-97).

На основі цих нормативно-правових актів можна сформулювати такі загальні вимоги охорони праці при доїнні корів:

Підприємства, які здійснюють доїння корів, повинні бути оснащені відповідними засобами виробництва, які відповідають вимогам охорони праці. Зокрема, приміщення для доїння корів повинні бути:

- обладнані достатнім освітленням;
- мати зручне розміщення обладнання;
- забезпечуватися належним вентиляванням.

Робочі місця працівників, зайнятих доїнням корів, повинні бути обладнані в суворій відповідності з вимогами охорони праці. Зокрема, робочі місця повинні бути забезпечені:

- необхідним освітленням;
- зручними робочими місцями;
- засобами індивідуального захисту.

Робітники, зайняті доїнням корів, повинні проходити навчання та перевірку знань з охорони праці відповідно до вимог нормативно-правових актів.

На підприємствах, які здійснюють доїння корів, повинен бути розроблений і затверджений інструктаж з охорони праці для працівників, зайнятих цим видом робіт.

Конкретні вимоги охорони праці при доїнні корів, з урахуванням конкретних умов технологічного процесу, повинні бути визначені в інструкціях з охорони праці для працівників, зайнятих цим видом робіт.

Ось деякі додаткові вимоги охорони праці, які можуть бути включені до інструкцій з охорони праці для працівників, зайнятих доїнням корів:

Перед початком роботи працівники повинні провести зовнішній огляд обладнання для доїння і переконатися в його технічній справності.

Під час роботи працівники повинні дотримуватися таких правил безпеки праці, зокрема:

не допускати до роботи працівників, які не пройшли навчання та перевірку знань з охорони праці;

не допускати до роботи працівників, які перебувають у стані алкогольного, наркотичного або токсичного сп'яніння;

не працювати з вимкненим освітленням;

не допускати до доїння корів, які мають ознаки захворювання;

не допускати до доїння корів, які перебувають у стані збудження;

дотримуватися правил особистої гігієни.

У разі виникнення аварійної ситуації працівники повинні негайно припинити роботу і повідомити про це керівника робіт.

Виконання цих вимог допоможе запобігти нещасним випадкам і професійним захворюванням працівників, зайнятих доїнням корів.

Ось кілька конкретних прикладів вимог охорони праці, які можуть бути включені до інструкцій з охорони праці для працівників, зайнятих доїнням корів:

Під час доїння корів забороняється:

використовувати несправне обладнання для доїння;

торкатися електрообладнання мокрими руками;

піднімати вантажі, які перевищують допустимі норми;

працювати з вимкненим освітленням.

У разі виявлення несправностей у обладнанні для доїння необхідно негайно повідомити про це керівника робіт.

У разі виникнення аварійної ситуації необхідно негайно припинити роботу, відключити електроживлення і повідомити про це керівника робіт.

4.2 Проект інструкції з охорони праці оператора машинного доїння

1. Загальні вимоги

Підприємства, які здійснюють машинне доїння корів, повинні бути оснащені відповідними засобами виробництва, які відповідають вимогам охорони праці. Зокрема, приміщення для машинного доїння корів повинні бути:

обладнані достатнім освітленням;

мати зручне розміщення обладнання;

забезпечуватися належним вентиляванням.

Робочі місця працівників, зайнятих машинним доїнням корів, повинні бути обладнані в суворій відповідності з вимогами охорони праці. Зокрема, робочі місця повинні бути забезпечені:

необхідним освітленням;

зручними робочими місцями;

засобами індивідуального захисту.

Робітники, зайняті машинним доїнням корів, повинні проходити навчання та перевірку знань з охорони праці відповідно до вимог нормативно-правових актів.

На підприємствах, які здійснюють машинне доїння корів, повинен бути розроблений і затверджений інструктаж з охорони праці для працівників, зайнятих цим видом робіт.

2. Вимоги безпеки перед початком роботи

Перед початком роботи оператор машинного доїння повинен провести зовнішній огляд обладнання для доїння і переконатися в його технічній справності. Зокрема, необхідно перевірити:

- наявність і справність блокувальних пристроїв;
- справність пристроїв для автоматичного відключення електроживлення;
- справність пристроїв для захисту працівників від впливу шкідливих і небезпечних факторів.

Оператор машинного доїння, який не пройшов навчання та перевірку знань з охорони праці, до роботи не допускається.

Оператор машинного доїння, який перебуває у стані алкогольного, наркотичного або токсичного сп'яніння, до роботи не допускається.

3. Вимоги безпеки під час роботи

Під час роботи оператор машинного доїння повинен дотримуватися таких правил безпеки праці, зокрема:

- не працювати з вимкненим освітленням;
- не допускати до доїння корів, які мають ознаки захворювання;
- не допускати до доїння корів, які перебувають у стані збудження;
- дотримуватися правил особистої гігієни.

При роботі з обладнанням для машинного доїння оператор машинного доїння повинен використовувати засоби індивідуального захисту, зокрема:

- спецодяг;
- спецвзуття;
- захисні окуляри;
- рукавички гумові.

4. Вимоги безпеки після закінчення роботи

Після закінчення роботи оператор машинного доїння повинен:
 зупинити обладнання для доїння;
 відключити електроживлення;
 очистити робоче місце від сміття та залишків молока;
 прибрати засоби індивідуального захисту.

5. Вимоги безпеки в аварійних ситуаціях

У разі виникнення аварійної ситуації оператор машинного доїння повинен негайно припинити роботу і повідомити про це керівника робіт.

Необхідно вжити заходів щодо ліквідації аварійної ситуації і попередження травмування працівників.

Додаткові вимоги безпеки

Під час доїння корів забороняється:

використовувати несправне обладнання для доїння;
 торкатися електрообладнання мокрими руками;
 піднімати вантажі, які перевищують допустимі норми;
 працювати з вимкненим освітленням.**

У разі виявлення несправностей у обладнанні для доїння необхідно негайно повідомити про це керівника робіт.

У разі виникнення аварійної ситуації необхідно негайно припинити роботу, відключити електроживлення і повідомити про це керівника робіт.

4.3 Порядок дій під час надзвичайної ситуації

Порядок дій під час надзвичайної ситуації залежить від типу надзвичайної ситуації, що виникла. Однак є деякі загальні правила, які слід дотримуватися в будь-якому випадку.

Перше, що потрібно зробити, це оцінити ситуацію і визначити, чи є загроза життю або здоров'ю. Якщо є загроза, необхідно негайно вжити заходів для

її усунення. Наприклад, якщо виникла пожежа, необхідно евакуюватися з приміщення і викликати пожежну службу.

Якщо загрози життю або здоров'ю немає, необхідно дотримуватися наступних правил:

Залишайтеся спокійними і не панікуйте. Паніка може призвести до нерозважливих дій, які можуть погіршити ситуацію. Слідкуйте за інформацією від офіційних джерел. Не довіряйте чуткам і не поширюйте їх самостійно. Допоможіть тим, хто цього потребує. Якщо ви можете надати допомогу постраждалим, зробіть це. Конкретні рекомендації щодо дій під час надзвичайної ситуації можна знайти в інформаційних матеріалах, які випущені для вашої місцевості. Наприклад, у вашому населеному пункті може бути розроблений план дій на випадок надзвичайної ситуації. Цей план може містити інформацію про те, як евакуюватися з населеного пункту, як діяти в разі пожежі, землетрусу, хімічної атаки тощо.

Ось деякі додаткові поради щодо дій під час надзвичайної ситуації:

Підготуйтеся до надзвичайної ситуації заздалегідь. Укомплектуйте тривожну валізку з необхідними речами, такими як вода, їжа, ліхтарик, аптечка тощо. Ознайомтеся з маршрутами евакуації з вашого населеного пункту. Навчіться надавати першу допомогу.

Запам'ятайте, що дотримання правил безпеки допоможе вам вберегти себе і своїх близьких під час надзвичайної ситуації.

4.4 Висновки

Базуючись на нормативній документації та згідно вимог охорони праці нами проведено планування заходів з охорони праці під час доїння корів, розроблено проект інструкції з охорони праці оператора машинного доїння.

5 Техніко-економічна оцінка удосконаленого насоса

5.1 Вихідні дані

Порівнювати будемо два насоси, якими укомплектовано індивідуальну доїльну установку ДУ-10, який за базового виконання оснащено електродвигуном АИ1Е80А4Б4, з робочою частотою обертання 1460 хв^{-1} та потужністю 0,75 кВт, а за проектного варіанту – електродвигуном ЭЛРЕ ДАР56А2 з робочою частотою обертання 2800 хв^{-1} та потужністю 0,75 кВт, який оснащено частотним регулюванням частоти обертання SIRIO-ENTRY 230. Переваги проектного варіанту перед базовим у зменшенні витрат на електроенергію, за рахунок можливості встановлення визначеної у розділі 3 оптимальної, з точки зору питомої енергоємності, частоти обертання ротора насоса. Крім того, частотне регулювання забезпечує плавний пуск і зупинку електродвигуна [37], що продовжує міжремонтний термін експлуатації як двигуна так і насоса на 30 %. Це, на нашу думку, зменшить витрати на амортизаційні відрахування, технічне обслуговування та ремонт доїльної установки в цілому.

Економічну оцінку запропонованої розробки було вирішено провести за експлуатаційними витратами, при цьому витрати на енергоресурси визначали за питомим показником витрат на електроенергію, який розраховувався як відношення споживаної електроенергії до об'ємної продуктивності:

$$E = \frac{N}{Q}, \quad (5.1)$$

де N – споживана потужність, кВт;

Q – продуктивність установки, $\text{м}^3/\text{год}$.

Таблиця 5.1 - Порівняння питомих показників доїльних установок при комплектації одним доїльним апаратом

Показник	Доїльна установка	
	з базовим насосом	з експериментальним насосом
Вартість доїльної установки, грн.	4870	5220
Кількість корів, що обслуговуються, гол	10	10
Річний час роботи, год.	1900	1900
Необхідна об'ємна річна продуктивність, м ³	9500	9500
Питома енергоємність, кВт/м ³	0,062	0,038
Термін експлуатації доїльної установки, років	8	11
Амортизаційні відрахування, %	12,5	9,1

5.2 Розрахунок економічної ефективності

«Річний економічний ефект від застосування насоса визначається по різниці приведених витрат. Оскільки введення нового насоса не впливає на зміну обсягу робіт, то річний економічний ефект розрахуємо по формулі:

$$F_e = (C_0 + E_H \cdot K_0) - (C_1 + E_H \cdot K_1), \text{ грн.}; \quad (5.2)$$

де Z_0 і Z_1 – річна витрата на експлуатацію машини по старому і новому варіантам, грн.;

K_0 і K_1 – капітальні вкладення в техніку по старому і новому варіантам, грн.;

E_n – нормативний коефіцієнт ефективності капіталовкладень ($E_n = 0,12 \dots 0,18$)»

«Визначимо річні витрати на експлуатацію машини по старому і новому варіанту:

$$Z = Z_e + C_{то} + C_a + Z_n, \text{ грн.} \quad (5.3)$$

де C_e – вартість електроенергії, грн.;

$C_{то}$ – витрати на ТО, грн.;

C_a – витрати на амортизацію, грн.;

Z_n – зарплата робітнику, грн.»

«Витрати на електроенергію визначимо за формулою

$$Z_e = Q_p \cdot E \cdot c_e, \quad (5.4)$$

де Q_p – необхідна річна об'ємна продуктивність, м^3 . З табл. 5.4 маємо для обох варіантів $Q_p=9500 \text{ м}^3$.

E – питома енергоємність, $\text{кВт}/\text{м}^3$.

$c_e = 1,12$ грн/кВт – вартість електроенергії.»

«Тоді за формулою (5.2) маємо за варіантами:

базовий

$$Z_e = 9500 \cdot 0,062 \cdot 1,12 = 659,68 \text{ грн.};$$

проектний

$$Z_e = 9500 \cdot 0,038 \cdot 1,12 = 404,32 \text{ грн.}$$

Затрати на капітальний і поточний ремонт і технічне обслуговування, визначимо по формулі:

$$C_{mo} = \frac{K \cdot R}{100}, \quad (5.5)$$

де K – балансова вартість установки, грн. З табл. 5.1 $K_6=4870$ грн., для проєктованого подрібнювача $K_6=5220$ грн.

R – відсоток щорічних відрахувань на ремонт і технічне обслуговування, $R = 14\%$.»

базовий

$$C_{mo.б} = \frac{4870,00 \cdot 14}{100} = 681,8 \text{ грн.};$$

проєктний

$$C_{mo.n} = \frac{5220,00 \cdot 14}{100} = 730,80 \text{ грн.}$$

«Визначимо амортизаційні витрати:

$$C_a = \frac{K \cdot a}{100}, \text{ грн} \quad (5.6)$$

де a – відсоткові відрахування на амортизаційні витрати, % (з табл. 5.1).

базовий

$$C_{a.б} = \frac{4870 \cdot 12,5}{100} = 608,75 \text{ грн.};$$

проектний

$$C_{a.n} = \frac{5220,00 \cdot 9,1}{100} = 475,02 \text{ грн.}$$

Заробітну плату робітником, що обслуговує установку, визначимо, виходячи від тарифної ставки (8,65 грн/год. для III розряду при проведенні механізованих робіт в тваринництві) і часу роботи установки:

$$Z_3 = n \cdot T_p \cdot f \cdot \delta, \text{ грн.} \quad (5.7)$$

де n – чисельність обслуговуючого персоналу, люд.;

f – годинна тарифна ставка, грн./год.;

$\delta = 1,372$ – коефіцієнт нарахування на заробітну плату.

Тоді:

базовий

$$Z_{зб} = 1 \cdot 1900 \cdot 8,65 \cdot 1,375 = 22598,13 \text{ грн.};$$

проектний

$$Z_{zn} = 1 \cdot 1900 \cdot 8,65 \cdot 1,375 = 22598,13 \text{ грн.}$$

Річні експлуатаційні витрати визначимо по формулі (5.3):

базовий

$$C_c = 659,68 + 681,80 + 608,75 + 22598,13 = 24548,36 \text{ грн.};$$

проектний

$$C_n = 404,32 + 730,8 + 475,02 + 22598,13 = 24208,27 \text{ грн.}$$

Річний економічний ефект, очікуваний від застосування експериментального насоса, складе:

$$\mathcal{E}_p = (24548,36 + 0,15 \cdot 4870,00) - (24208,27 + 0,15 \cdot 5220,00) = 287,59 \text{ грн.}$$

Ступінь зниження експлуатаційних витрат складе:

$$E_{\text{експл}} = \frac{C_c - C_n}{C_c} \cdot 100\% = \frac{24548,36 - 24208,27}{24548,36} \cdot 100\% = \frac{385,93}{6772,18} \cdot 100\% = 1,4\% \quad (5.8)$$

Строк окупності капітальних вкладень знаходимо як відношення капітальних вкладень у машину до різниці річних експлуатаційних витрат по порівнюваних варіантах:

$$T = \frac{\Delta K}{\Delta C} = \frac{K_n - K_6}{C_6 - C_n}, \text{ років} \quad (5.9)$$

$$T = \frac{5220,00 - 4870,00}{24548,36 - 24208,27} = \frac{350,00}{340,09} = 1,03 \text{ роки.}$$

Результати розрахунків зводимо в табл. 5.2.»

Таблиця 5.2 - Економічна ефективність застосування насоса

ПОКАЗНИКИ	ВАРІАНТИ	
	базовий	проектний
1	2	3
1. Капітальні вкладення, грн.	4870	5220
2. Кількість корів, що обслуговуються, гол	10	10
3. Питома енергоємність, кВт/м ³	0,062	0,038
4. Річні експлуатаційні витрати, грн.	24548,36	24208,27
в т.ч.: витрати на електроенергію	659,68	404,32
витрати на ТО та ремонт	681,8	730,8
амортизаційні відрахування	608,75	475,02
заробітна платня	22598,13	22598,13
5. Економія експлуатаційних витрат, грн.	-	340,09
6. Річний економічний ефект, грн.	-	287,59
7. Строк окупності капітальних вкладень, років	-	1,03

5.3 Висновки

Порівнюючи економічні показники обох варіантів (табл. 5.2) бачимо, що застосування розробленого насосу в складі індивідуальної доїльної установки для малої ферми на 10 корів приватного господарства має економічну доцільність. Строк окупності при впровадженні складе 1,03 роки, а річний економічний ефект за нашими розрахунками становить 287,59 грн.

Загальні висновки

В цілому за результатами роботи отримано наступне:

- встановлено, що при загальному річному об'ємі (1100 тис. тон) виробництва молока в Україні на 2022 р., біля 80 відсотків припадає на приватний сектор, тобто господарства населення;
- аналіз існуючих засобів механізації процесу доїння в приватних господарствах виявив, що ефективність та надійність роботи доїльних установок залежить від вакуумного насоса;
- на основі висунути техніко-технологічних вимог до індивідуальної доїльної установки було сформовано мету та задачі досліджень;
- проведено градацію факторів, які найбільш суттєво впливають на ефективність експлуатації насоса та виявлено, що визначення впливу режимних параметрів роботи насоса, найкраще провести його дослідження при фіксованих геометричних. Це дасть змогу оцінити окремо їх вплив на вихідні характеристики насоса та вибрати оптимальний режим його експлуатації;
- за об'єкт досліджень було прийнято вакуумний насос доїльної установки ДУ-10 з обґрунтованими раніше геометричними параметрами;
- з аналізу теоретичних досліджень встановлено, що вплив режимних факторів на продуктивність та потужність на привід насоса близький до лінійного. Щодо парного впливу, то він має експоненційну залежність;
- проведено вибір математичної моделі залежності продуктивності та потужності на привід від режимних параметрів вакуумного насоса на основі чого було проведено планування експерименту та проведення стендових досліджень вакуумного насоса;
- частота обертання ротора обмежується температурою статора після виходу на режим на рівні 1800...1900 хв⁻¹;

- отримано математичні моделі продуктивності вакуумного насоса та потужності на привід від цих факторів, адекватність моделей перевірено за критеріями Ст'юдента і Фішера. При цьому коефіцієнт кореляції теоретичних та експериментальних даних склав 0,87;

- за критерії оптимізації було прийнято питому енергоємність та коефіцієнт відкачування. Їх аналіз показав, що оптимальна частота обертання ротора насоса знаходиться в діапазоні 1700 – 1900 хв⁻¹. При цьому коефіцієнт відкачування склав 0,485 (+ 7% в порівнянні з прототипом) а питома енергоємність – 0,038 (кВт·год)/м³ (- 38,7% в порівнянні з прототипом);

- для забезпечення вказаного діапазону частот обертання використаємо електродвигун ЭЛРЕ ДАР56А2 з робочою частотою обертання 2800 хв⁻¹ та потужністю 0,75 кВт, який оснащено частотним регулюванням частоти обертання ротора (перетворювач SIRIO-ENTRY 230);

- базуючись на нормативній документації та згідно вимог охорони праці нами проведено планування заходів з охорони праці під час доїння корів, розроблено проект інструкції з охорони праці оператора машинного доїння.;

- порівняння економічних показників прототипу та удосконаленого варіанту показує, що застосування розробленого насоса в складі індивідуальної доїльної установки для малої ферми на 10 корів приватного господарства має економічну доцільність. Строк окупності при впровадженні складе 1,03 роки, а річний економічний ефект за нашими розрахунками становить 287,59 грн.

БІБЛІОГРАФІЯ

1. Мазур Т., Очеретяна Л., Димань Т. Екологія сирого молока у господарствах різних форм власності/ Т.Мазур, Л.Очеретяна, Т. Димань // Тваринництво України. –К. 2008 № 3.
2. Руденко Є.В., Россо Л.М., Трусова Т.Ю., Шаповалов С.О. Бактеріцидність та бактеріальне забруднення сирого молока./ Є.В.Руденко, Л.М.Россо, Т.Ю.Трусова, С.О. Шаповалов // Ефективне тваринництво. -№6. -2008. С. 37-40.
3. Москаленко С., Ластівка М., Ткач В. Обладнання і технологія для доїння корів в особистих господарствах. / С. Москаленко, М.Ластівка, В. Ткач // Тваринництво України. -№8. -2001.
4. Фененко А., Римар Д., Дідорук О. Технологічні і конструктивні рішення однострубною і двотрубною молоко повітряною системою доїльних установок / А.Фененко, Д.Римар, О.Дідорук. // Вісник Львів.держ.аграрного університету. Сер. Агро інженерні дослідження. – 2001 - № 5. С.67-74.
5. Павленко С.І. Обґрунтування окремих параметрів пластинчатих вакуумних насосів / С.І. Павленко, В.Ю. Дудін, М.В. Колончук, Д.Ф. Кольга // Геотехнічна механіка: Міжвід. зб. наук. праць Ін-т геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова НАН України. – Дніпропетровськ: 2008. – Вип. 75. – С. 258-268
6. Павленко С.І. Експериментальні дослідження показників робочого процесу вакуумного насосу / С.І. Павленко, В.Ю. Дудін, В.С. Дубовенко // Вдосконалення технології та обладнання виробництва продукції тваринництва: Вісник харківського Національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка – Харків, 2010. – Вип. 93. – С. 464-468
7. Пат. 46831 Україна, МПК (2009) F04C 2/00. Вакуумний пластинчатороторний насос / А.О. Парієв, С.І. Павленко, С.В. Дубовенко, В.Ю. Дудін; заявник і патентовласник Ін-т мех. тв-ва УААН. – № и 2009 06676; заявл. 25.06.2009; опублік. 11.01.2010, Бюл. №1, 2010 р.

8. Дудін В.Ю. Техніко-економічне обґрунтування застосування ротаційного пластинчатого вакуумного насоса у складі індивідуальної доїльної установки / В.Ю. Дудін, С.І. Павленко // *Механізація та електрифікація сільського господарства – Глеваха*, 2013. – Вип. 91. Т.1 – С. 564-569.

9. Дудін В.Ю. Результати випробувань індивідуальної доїльної установки ДУ-10 з ротаційним пластинчатим вакуумним насосом / В.Ю. Дудін, Е.Б. Алієв // *Технічні системи і технології тваринництва: Вісник харківського Національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка – Харків*, 2013. – Вип. 132. – С. 453-458.

10. Алієв Е. Б. Оцінка фактичного рівня безвідмовності вузлів вакуумної системи молочно-доїльного обладнання / Е. Б. Алієв // *Сучасні проблеми вдосконалення технічних систем і технологій у тваринництві: Вісник харківського Національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка – Харків*, 2012. – Вип. 120. – С. 326-330.

11. Буря А.И. Исследование влияния содержания углеродного волокна на свойства углепластика на основе фторопласта-4 / А.И. Буря, В.Ю. Дудин, Н.И. Аносов, В.И. Басистый // *Материалы двадцать второй ежегодной международной научно-практической конференции "Композиционные материалы в промышленности"*, 1-5 июня 2002. – Ялта, 2002. – С. 20.

12. Буря А.И. Свойства углепластиков и опыт их применения в машиностроении / А.И. Буря, А.Д. Деркач, В.Ю. Дудин // *Международный технический журнал "Мир техники и технологий"*. – № 12. – 2002. – С. 30-31.

13. Burya A.I. Investigation of friction and wear of polymer compression materials based on phenol-formaldehyde resin / A.I. Burya, V.Yr. Dudin // *6th International Symposium INSYCONT'02 "NEW ACHIEVEMENTS in TRIBOLOGY"*, September 19th-21st, Cracow, Poland. – P. 243-250.

14. Пат. 47930 А Україна, МПК (2006) С08L 61/00, С08К 7/00, С08К 13/00, F16С 33/16 (2006.01). Полімерна композиція / О.І. Буря, В.Ю. Дудін, О.Д. Деркач, Ю.П. Фесенко, В.М. Прокоп'єв; заявник і патентовласник О.І. Буря,

Ю.П. Фесенко, В.М. Прокоп'єв. – № 2001 117715; заявл. 15.07.2002; опублік. 15.07.2002, Бюл. №7, 2002 р.

15. Павленко С.І. Оптимізація конструктивно-режимних параметрів ротаційного вакуумного насоса індивідуальної доїльної установки / С.І. Павленко, В.Ю. Дудін, Е.Б. Алієв // Механізація, екологізація та конвертація біосировини в тваринництві: зб. наук. праць / Ін-т мех. тваринництва НААН. – Запоріжжя, 2011. – № 1(7). – С. 240-252. – ISSN 2075-1591.

16. Павленко С.І. Експериментальні дослідження показників робочого процесу вакуумного насоса / С.І. Павленко, В.Ю. Дудін, В.С. Дубовенко // Вдосконалення технології та обладнання виробництва продукції тваринництва: Вісник харківського Національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка – Харків, 2010. – Вип. 93. – С. 464-468.

17. Дудин В.Ю. Обоснование конструктивных параметров и режима работы ротационного вакуумного насоса/ В.Ю. Дудин, С.И. Павленко// Перспективные технологии и технические средства в сельскохозяйственном производстве: материалы международной научно-практической конференции (Минск 11-12 апреля 2013 г.) В2 ч. Ч. 2 – минск: БГАТУ – 2013 С. 195 – 197.

18. Павленко С.І. Дослідження умов роботи в спряжені пластина-статор ротаційного вакуумного насоса індивідуальної доїльної установки / С.І. Павленко, В.Ю. Дудін, Е.Б. Алієв, / Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: техніка та енергетика АПК. - К., 2012. - Вип. 170, ч.1, - С.169-180.

19. Алієв Е.Б. Теоретична оцінка показників надійності вакуумної системи доїльні установки / Е.Б. Алієв, Т.А Похальчук // Науковий вісник Луганського національного аграрного університету. Серія: Технічні науки: Луганський національний аграрний університет – Луганск, 2011. – Вип. 29. – С. 57-66.

20. Дудін В.Ю. Підвищення ефективності роботи вакуумних установок доїльного обладнання / В.Ю. Дудін, С.І. Павленко, Б.Т. Потеруха // Механізація, екологізація та конвертація біосировини в тваринництві: зб. наук. праць / Ін-т

мех. тваринництва НААН. – Запоріжжя, 2009. – Вип. 3 (3). – С. 8-13. – ISSN 2075-1591.

21. Павленко С.І. Обґрунтування деяких конструктивних характеристик ротаційних вакуумних насосів з тангенціальним розміщенням пластин / С.І. Павленко, М.М. Науменко, В.Ю. Дудін // Сучасні проблеми вдосконалення технічних систем і технологій у тваринництві: Вісник харківського Національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка – Харків, 2011. – Вип. 108. – С. 159-163.

22. Павленко С.І. Обґрунтування окремих параметрів пластинчатих вакуумних насосів / С.І. Павленко, В.Ю. Дудін, М.В. Колончук, Д.Ф. Кольга // Геотехнічна механіка: Міжвід. зб. наук. праць Ін-т геотехнічної механіки ім. М.С.Полякова НАН України. – Дніпропетровськ: 2008. – Вип. 75. – С. 258-268.

23. Wycliffe H. Rotary pumps and mechanical boosters – as used on today's high vacuum systems / H. Wycliffe // Vacuum. – № 37. – 1987. – P. 603-607.

24. Audi M. Ion pumps / M. Audi, M. de Simon // Vacuum. – № 37. – 1987. – P. 639-636.

25. Kubina L. Decreasing energetic demands of vacuum pumps being used in machine milking with utilization of a frequency convertor / L. Kubina, Š. Kováč // RES. AGR. ENG. – 2002. – № 48. – P. 103-111.

26. Rasmussen M.D. Influence of air intake on the concentration of free fatty acids and vacuum fluctuations during automatic milking / M.D. Rasmussen, L. Wiking, M. Bjerring, H.C. Larsen // Journal of Dairy Science. – 2006. – № 89. – P. 4596-4605.

27. Reinemann D.J. Effects of Milking Vacuum on Milking Performance and Teat Condition / D.J. Reinemann, M.A. Davis, D. Costa, A.C. Rodriguez // Proceedings, AABP- National Mastitis Council. International Symposium on Mastitis and Milk Quality, 13-15.09.2001, Vancouver, Canada. – 2001.

28. Tan J. Analysis of vacuum systems / J. Tan, K.A. Janni, R.D. Appleman // Journal of Dairy Science. – 1993. – № 76. – P. 2204-2212.