

ДНПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Інженерно-технологічний факультет

Кафедра інжинірингу технічних систем

Пояснювальна записка

до дипломної роботи

рівня вищої освіти «Магістр» на тему:

Обґрунтування ресурсозберігаючої системи

опалення птахівничих приміщень

Виконав: студент 2 курсу, групи МГАІ-2-23

за спеціальністю 208 «Агроінженерія»

_____ Розгон Кирило Вячеславович

Керівник: _____ Дудін Володимир Юрійович

Рецензент: _____ Леперда Володимир Юрійович

Дніпро 2024

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

Кафедра інжинірингу технічних систем
Рівень вищої освіти: «Магістр»
Спеціальність: 208 «Агроінженерія»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

ІТС

(назва кафедри)

ДОЦЕНТ

(вчене звання)

Дудін В.Ю.

(підпис) (прізвище, ініціали)

«12» листопада 2024 р.

**ЗАВДАННЯ
НА ДИПЛОМНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ**

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Обґрунтування ресурсозберігаючої системи опалення птахівничих приміщень

керівник роботи: к.т.н., доцент Дудін Володимир Юрійович

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

затверджені наказом вищого навчального закладу від
листопада 2024 року № 3784

2. Строк подання студентом роботи 16.12.2024 р.

3. Вихідні дані до роботи Аналіз стану питання процесів та обладнання для системи опалення птахівничих приміщень. Аналіз літературних джерел, останніх досліджень з обраної тематики.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1. Аналіз стану питання енергозбереження в системах мікроклімату тваринницьких приміщень. 2. Теоретичні дослідження рекуператора теплоти. 3. Експериментальні дослідження рекуператора теплоти. 4. Охорона праці. Техніко-економічна оцінка розробленого рекуператора теплоти. Загальні висновки. Бібліографічний список

5. Перелік демонстраційного матеріалу

1. Мета і задачі досліджень. Аналіз (3 аркуші, А4). 2. Теоретичні дослідження (3 аркуші, А4). 3. Експериментальні дослідження (2 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
	Дудін В.Ю., доцент		
Нормоконтроль	Дудін В.Ю., доцент		

7. Дата видачі завдання: 12.11.2024 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
	Аналітичний (оглядовий)	до 01.10.2024 р.	
	Теоретичний	до 20.10.2024 р.	
	Експериментальний	до 09.11.2024р.	
	Охорона праці	до 19.11.2024 р.	
	Економічний	до 26.11.2024 р.	
	Демонстраційна частина	до 30.11.2024р.	

Студент _____ Розгон К.В. _____

Керівник роботи _____ Дудін В.Ю. _____

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Розгон К.В. Обґрунтування ресурсозберігаючої системи опалення птахівничих приміщень/Випускна кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня «магістр» за спеціальністю 208 «Агроінженерія» – ДДАЕУ, Дніпро, 2024.

Вступна частина дипломної роботи містить обґрунтування актуальності впровадження ресурсозберігаючих технологій у птахівництві, формулювання мети та задач дослідження, а також опис застосованих методів. У першому розділі проведено аналіз сучасних підходів до забезпечення мікроклімату в птахівничих приміщеннях та визначено їх недоліки. Теоретичні дослідження включають моделювання та розробку конструкції енергоефективної системи опалення. Лабораторні випробування підтвердили ефективність роботи запропонованої системи. Також приділено увагу питанням охорони праці під час експлуатації обладнання. Завершальним етапом роботи стало техніко-економічне обґрунтування, яке показало доцільність впровадження розробки. У висновках узагальнено результати роботи та наведено рекомендації щодо практичного застосування.

Ключові слова: птахівництво, опалення, енергоефективність, ресурсозбереження.

ЗМІСТ

Вступ		8
1	АНАЛІЗ СТАНУ ПИТАННЯ ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ В СИСТЕМАХ МІКРОКЛІМАТУ ТВАРИННИЦЬКИХ ПРИМІЩЕНЬ	10
1.1	Типи систем мікроклімату та їх складові.	10
1.2	Напрямки ресурсозбереження в системах мікроклімату птахівничих приміщень.	16
1.3	Огляд конструкцій теплообмінників	18
1.4	Огляд наукових досліджень	23
1.5	Висновки	31
2	ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ РЕКУПЕРАТОРА ТЕПЛОТИ	33
2.1	Програма та методика досліджень цифрової моделі	33
2.2	Конструктивні параметри пластинчастого теплообмінника перехресного ходу	34
2.3	Результати моделювання	37
2.4	Висновки	42
3	ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ РЕКУПЕРАТОРА ТЕПЛОТИ	43
3.1	Мета, завдання і програма досліджень	43
3.2	Обладнання для експериментальних досліджень	44
3.3	Результати експериментальних досліджень	49
3.4	Висновки	58
4	ОХОРОНА ПРАЦІ	59
4.1	Загальні вимоги охорони праці при роботі із системами опалення птахівничих приміщень	59
4.2	Проект інструкції з охорони праці при роботі із системою опалення	59
4.3	Аналіз потенційних небезпек та ризиків	60
4.4	Порядок дій у надзвичайній ситуації	61

4.5	Заходи з організації безпечного робочого середовища	61
4.6	Висновки	62
5	ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНА ОЦІНКА РОЗРОБЛЕНОГО РЕКУПЕРАТОРА ТЕПЛОТИ	63
5.1	Вихідні дані	63
5.2	Оцінка економічних переваг	64
5.3	Висновки	66
	ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	67
	БІБЛІОГРАФІЯ	68
	ДОДАТКИ	71

Вступ

Птахівництво є однією з провідних галузей агропромислового комплексу, яка забезпечує населення цінними продуктами харчування, зокрема м'ясом та яйцями. Ефективність функціонування птахівничих господарств значною мірою залежить від умов утримання птиці, зокрема мікроклімату у приміщеннях. Оптимальний температурний режим є одним із найважливіших чинників, що впливає на здоров'я, продуктивність та рентабельність вирощування птиці. Саме тому системи опалення птахівничих приміщень мають бути ефективними, енергоощадними та екологічно безпечними.

На сучасному етапі розвитку сільського господарства Україна та інші країни стикаються з низкою викликів, пов'язаних із зростанням цін на енергоносії, підвищенням вимог до екологічної безпеки та необхідністю зменшення собівартості виробництва продукції. Це зумовлює актуальність упровадження ресурсозберігаючих технологій у птахівництві, зокрема в системах опалення. Успішне вирішення цих завдань дозволяє не лише оптимізувати витрати, а й підвищити якість кінцевої продукції завдяки створенню комфортних умов для вирощування птиці.

Розробка та впровадження сучасних систем опалення, які забезпечують ефективне використання енергоресурсів, є важливим кроком у напрямку підвищення конкурентоспроможності птахівничої галузі. Такі системи дозволяють досягти зниження витрат теплової енергії, мінімізувати тепловтрати та використовувати альтернативні джерела енергії. Водночас зменшується негативний вплив на навколишнє середовище, що відповідає вимогам сталого розвитку.

У даній дипломній роботі обґрунтовано концепцію ресурсозберігаючої системи опалення птахівничих приміщень, яка відповідає сучасним стандартам енергоефективності та екологічності. Проведено аналіз існуючих підходів до забезпечення теплового режиму, виявлено їх недоліки та запропоновано інноваційні рішення для оптимізації процесу опалення.

Актуальність теми полягає у необхідності розв'язання проблеми зростання енерговитрат у птахівничій галузі. Впровадження ресурсозберігаючих систем опалення сприятиме зниженню собівартості продукції, підвищенню продуктивності господарств та створенню передумов для раціонального використання енергоресурсів. Це має важливе значення як для окремих господарств, так і для розвитку птахівництва загалом у контексті забезпечення продовольчої безпеки країни.

Таким чином, метою цієї дипломної роботи є наукове обґрунтування і розробка ресурсозберігаючої системи опалення птахівничих приміщень, яка забезпечить ефективне використання енергоресурсів, зменшить витрати на утримання птиці та сприятиме екологізації процесів виробництва.

1 АНАЛІЗ СТАНУ ПИТАННЯ ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ В СИСТЕМАХ МІКРОКЛІМАТУ ТВАРИННИЦЬКИХ ПРИМІЩЕНЬ

1.1 Типи систем мікроклімату та їх складові

Птахівництво вимагає ретельно відрегульованого мікроклімату для забезпечення оптимального здоров'я, продуктивності та добробуту птахів. Мікроклімат у птахівницьких приміщеннях включає такі фактори, як температура, вологість, якість повітря та освітлення, які впливають на ріст, ефективність корму та загальне самопочуття птиці. Різні типи систем мікроклімату задовольняють різноманітні потреби підприємства залежно від типу птиці, розміру приміщення та зовнішніх умов навколишнього середовища. У цій главі розглядаються основні типи систем мікроклімату, що використовуються в птахівницьких приміщеннях, а також детально розглядаються їх основні складові.

Системи природної вентиляції покладаються на природний потік повітря для підтримки належного рівня температури, вологості та якості повітря в пташнику. У цих системах використовуються стратегічно розташовані вікна, вентиляційні отвори та жалюзі для полегшення повітрообміну, дозволяючи старому або гарячому повітрю виходити назовні та надходити свіжому.

Компоненти систем природної вентиляції:

- Регульовані жалюзі та вентиляційні отвори: вони допомагають контролювати потік повітря, відкриваючи та закриваючи на основі бажаного рівня вентиляції.

- Вентиляційні вікна: Ці вікна, стратегічно розташовані вздовж стін, сприяють перехресній вентиляції, забезпечують природну циркуляцію повітря.

- Вітрозахисні засоби: іноді використовуються за межами закладу, щоб зменшити швидкість вітру, що допомагає підтримувати більш стабільну температуру в приміщенні та запобігає протягам.

Переваги та обмеження:

Системи природної вентиляції, як правило, недорогі та енергоефективні, але можуть бути менш ефективними в жаркому, вологому або екстремальному кліматі, де природний потік повітря не може адекватно регулювати температуру та вологість.

Системи механічної вентиляції широко використовуються в сучасних птахівницьких приміщеннях для забезпечення постійного контролю внутрішнього середовища. У цих системах використовуються вентилятори, повітроводи та витяжні системи для переміщення повітря в будівлю та з неї, пропонуючи кращий контроль температури та якості повітря.

Компоненти систем механічної вентиляції:

- Витяжні вентилятори: встановлюються на стінах або стелі для видалення гарячого або забрудненого повітря з приміщення.

- Забірні вентилятори: Ці вентилятори втягують свіже повітря в будівлю, підтримуючи постійний потік.

- Повітроводи: розподіляють і направляють повітряний потік по об'єкту, забезпечуючи рівномірну вентиляцію.

- Панелі керування: часто автоматизовані для регулювання швидкості вентилятора та інших параметрів на основі датчиків температури та вологості.

Переваги та обмеження:

Механічні системи забезпечують точний клімат-контроль і ефективні в регіонах з екстремальними погодними умовами. Однак вони пов'язані з вищими експлуатаційними витратами та потребують регулярного обслуговування, щоб запобігти поломкам.

Системи випарного охолодження особливо ефективні в жаркому та сухому кліматі. Ці системи охолоджують повітря шляхом випаровування води, знижуючи температуру вхідного повітря перед тим, як воно почне циркулювати всередині птахівницького приміщення.

Компоненти систем випарного охолодження:

- Прокладки для охолодження: зазвичай розміщуються на стінах приміщення, ці прокладки поглинають воду, яка випаровується під час проходження гарячого повітря, охолоджуючи повітря.

- Водяні насоси та система розподілу: вони подають воду до охолоджуючих панелей і підтримують стабільний рівень вологи для ефективного охолодження.

- Вентилятори: втягують повітря через охолоджувальні панелі в приміщення, сприяючи циркуляції охолодженого повітря.

Переваги та обмеження:

Випарне охолодження є енергоефективним і особливо корисним у жаркому кліматі, хоча воно менш ефективне в умовах високої вологості. Система потребує регулярного обслуговування, щоб запобігти засміченню та росту водоростей на охолоджуючих подушках.

Система освітлення в птахівничих приміщеннях є важливим елементом мікроклімату, що впливає на фізіологічні процеси, поведінку та продуктивність птиці. Правильне освітлення сприяє не лише здоров'ю птахів, але й підвищує ефективність їх вирощування. Ось основні аспекти системи освітлення в птахівничих приміщеннях:

Спектр світла: Птахи сприймають світло по-різному, ніж люди. Важливо використовувати лампи, які забезпечують широкий спектр світла, включаючи ультрафіолетове (UV) світло, яке сприяє синтезу вітаміну D3 і покращує загальне здоров'я птиці.

Інтенсивність освітлення: Яскравість освітлення має великий вплив на активність і поведінку птахів. Для бройлерів, наприклад, рекомендується освітлення з інтенсивністю 10-20 люменів.

Тривалість освітлення: Регулювання фотоперіоду (тривалості світлового дня) допомагає контролювати репродуктивні цикли птахів. Доволі часто використовується режим освітлення 14 годин світла, 10 годин темряви на добу.

Режими освітлення: Використання різних режимів (пульсуюче, м'яке освітлення) може впливати на стресостійкість птахів і їхню продуктивність.

Автоматизація: Системи автоматизації для контролю за освітленням можуть забезпечити належний режим без втручання людини, що дозволяє зберігати стабільність у мікрокліматі.

Вплив на поведінку: Правильне освітлення може зменшити агресію між птахами, покращити їхнє самопочуття та продуктивність.

Системи опалення мають вирішальне значення в холодному кліматі, де підтримка теплої та стабільної середовища має важливе значення для здоров'я та росту домашньої птиці, особливо курчат. Ці системи гарантують, що температура в приміщенні не падає до рівня, який може вплинути на здоров'я та продуктивність птахів.

Компоненти систем опалення:

- Брудери: Використовуються в основному для молодих курчат, брудери генерують локальне тепло для створення теплої середовища, необхідного для ранніх стадій росту.

- Променеві обігрівачі: ці обігрівачі забезпечують постійне тепло в усьому приміщенні, особливо у великих приміщеннях.

- Термостати: Автоматично регулюють рівні нагріву для підтримки стабільної температури відповідно до заданих параметрів.

Системи опалення дозволяють контролювати температуру навіть у надзвичайно холодному кліматі, хоча витрати на енергію можуть бути високими, особливо у великих приміщеннях. Необхідний регулярний моніторинг і технічне обслуговування, щоб уникнути перегріву та втрати енергії.

Контроль вологості необхідний для підтримки середовища, сприятливого для здоров'я птиці. Як надмірно високий, так і низький рівень вологості може спричинити проблеми з диханням і шкірою у птахів. Системи контролю вологості працюють у поєднанні з системами опалення та охолодження для підтримки оптимального рівня вологості.

Компоненти систем контролю вологості:

Зволожувачі: використовуються для додавання вологи в повітря, особливо в сухому кліматі або взимку, коли системи опалення знижують вологість.

Осушувачі: використовуються для видалення надлишкової вологи з повітря, що має вирішальне значення у вологому кліматі або в густонаселених приміщеннях.

Датчики та контролери вологості: ці датчики контролюють рівень вологості повітря, надсилаючи дані до блоків керування, які відповідно регулюють роботу зволожувачів або осушувачів.

Переваги та обмеження:

Належний контроль вологості запобігає проблемам зі здоров'ям, пов'язаним із респіраторними інфекціями та захворюваннями шкіри. Однак для створення ефективних систем контролю вологості потрібні інвестиції та регулярне обслуговування для забезпечення точних показань датчиків.

Якість повітря є важливою складовою мікроклімату птахівничих приміщень. Високий рівень аміаку, пилу та патогенів може серйозно вплинути на здоров'я птиці. Системи фільтрації та очищення повітря видаляють забруднення, знижуючи ризик захворювань і покращуючи загальну якість повітря.

Компоненти систем фільтрації та очищення повітря:

Фільтри: різні типи фільтрів, наприклад HEPA або вугільні фільтри, вловлюють пил, патогени та інші забруднювачі.

Скрубери аміаку є ще одним важливим компонентом систем очищення повітря. Вони спеціалізуються на видаленні аміаку, що утворюється внаслідок розкладання органічних речовин. Скрубери працюють за принципом промивання повітря рідиною, яка розчиняє або зв'язує аміак. Це не лише знижує рівень забруднення, але й покращує дихальний комфорт птиці, зменшуючи ризики розвитку захворювань.

Очищувачі ультрафіолетового світла: ультрафіолетове світло можна використовувати для дезінфекції повітря, що проходить через систему, знищуючи бактерії, віруси та грибки.

Іонізатори повітря також можуть входити до складу систем очищення. Вони створюють негативно заряджені іони, які сприяють осіданню пилу та інших частинок, що дозволяє зменшити їх концентрацію у повітрі. Додатково у системах очищення може використовуватися обладнання для контролю вологості, яке запобігає утворенню надмірної сухості або вологості, створюючи комфортні умови для птиці.

Переваги та обмеження:

Системи фільтрації та очищення повітря покращують здоров'я птахів і зменшують поширення хвороб, але вимагають регулярної заміни фільтрів і контролю. Вони найбільш ефективні в поєднанні з хорошою вентиляцією.

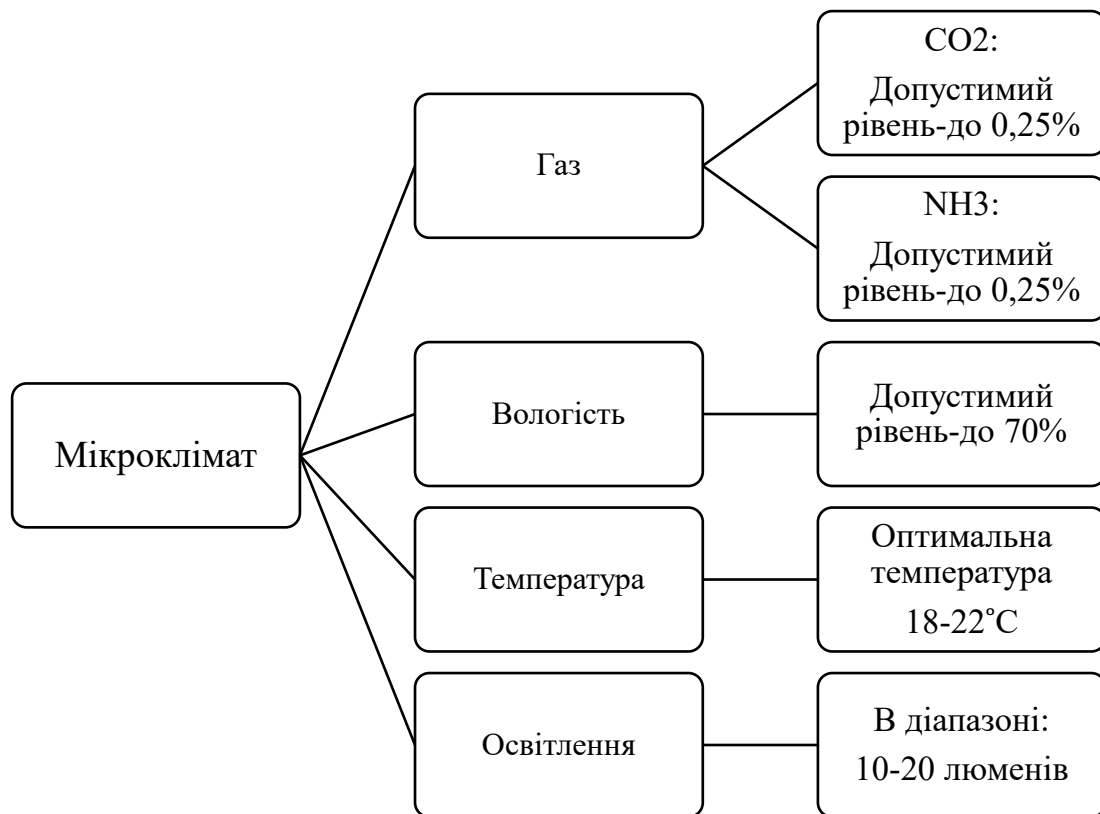


Рисунок 1.1 – Схема ключових систем мікроклімату

Кожна система мікроклімату пропонує унікальні переваги, адаптовані до різних кліматичних умов і потреб приміщення, забезпечуючи вирощування птиці в оптимальних умовах. Сучасні птахівничі підприємства часто

використовують комбінацію цих систем для досягнення точного контролю середовища. Інтегруючи природну та механічну вентиляцію, регулювання температури, контроль вологості та очищення повітря, птахофабрики можуть максимізувати добробут птахів, продуктивність і довголіття, мінімізуючи при цьому ризик захворювань і негативних наслідків для здоров'я.

1.2 Напрямки ресурсозбереження в системах мікроклімату птахівничих приміщень

В умовах сучасних викликів важливо впроваджувати технології, які забезпечують високу ефективність і водночас зберігають ресурси. Це може включати різноманітні підходи, від енергоефективних технологій до розробки нових матеріалів та інновацій в автоматизації виробництва. Розглянемо існуючі напрямки ресурсозбереження.

Зниження споживання електроенергії: Використання вентиляторів зі змінною швидкістю дозволяє знизити витрати електроенергії на 30-50%. На відміну від постійно працюючих вентиляторів, системи з регуляторами можуть змінювати швидкість роботи відповідно до температури, вологості та кількості газів у повітрі, що дозволяє використовувати мінімальну необхідну кількість енергії.

Оптимізація часу роботи: Використання автоматизованих систем з датчиками CO₂, температури та вологості дозволяє скоротити час роботи вентиляційної системи до 40%, оскільки вентилятори вмикаються лише при необхідності.

Покращення здоров'я та продуктивності птахів: Завдяки зниженню рівня аміаку і вуглекислого газу підвищується продуктивність та покращується здоров'я птахів, що знижує витрати на лікування на 10-15%.

Якщо ферма використовує 10 потужних вентиляторів (по 1 кВт кожен) протягом 12 годин на добу, витрати електроенергії на місяць становлять: $10\text{кВт} \times 12\text{год} \times 30\text{днів} = 3600\text{кВт}$. При вартості електроенергії 8,60 грн за кВт·год,

це 30960 грн на місяць. Використання регуляторів швидкості може скоротити витрати до 15480-21672 грн на місяць.

Скорочення витрат на освітлення: LED-лампи споживають до 70% менше енергії у порівнянні з традиційними лампами розжарювання. Крім того, вони мають значно довший термін служби, що зменшує витрати на заміну.

Автоматизація та управління спектром світла: Сучасні LED-системи дозволяють програмувати інтенсивність і спектр світла, щоб імітувати природний день. Це знижує стрес у птахів і може підвищити продуктивність на 5-10%.

Зменшення витрат на охолодження: LED-лампи виділяють менше тепла, ніж інші типи ламп, що знижує навантаження на системи охолодження в літній період.

Сонячні панелі: встановлення сонячних панелей забезпечує поновлюване джерело енергії, яке може зменшити залежність від зовнішнього джерела живлення, особливо в денний час. Сонячна енергія може компенсувати витрати на роботу систем вентиляції та освітлення.

Впровадження систем рекуперації тепла допомагає вловлювати та повторно використовувати тепло від відпрацьованого повітря, зменшуючи потребу в додатковому обігріві. Цей підхід зберігає енергію шляхом переробки тепла та підвищення загальної енергоефективності.

Ізоляція та герметизація: Належна ізоляція стін, даху та підлоги мінімізує втрати або надходження тепла, зменшуючи енергію, необхідну для опалення та охолодження. Повітряна герметизація запобігає небажаним протягам, підтримуючи стабільну температуру.

Впровадження сучасних енергоефективних технологій та автоматизації дозволяє значно скоротити споживання ресурсів, зменшити витрати та підвищити продуктивність у фермерських господарствах. Використання інноваційних систем у вентиляції, освітленні, опаленні та енергозабезпеченні створює сприятливі умови для утримання тварин і сприяє сталому розвитку, зберігаючи природні ресурси та фінансові витрати.

1.3 Огляд конструкцій теплообмінників

Пластинчатий теплообмінник - це тип рекуперативного теплообмінного обладнання, який має компактну конструкцію та високу ефективність передачі тепла. Його основу складають паралельно розташовані тонкі пластини, між якими циркулюють два різні теплоносії, що мають різну температуру. Завдяки великій площі теплообміну та малому об'єму, такі теплообмінники забезпечують швидке передавання тепла з однієї робочої рідини до іншої без змішування. Для підвищення тепловіддачі пластини можуть мати спеціальні профілі або канали, що підвищує турбулентність потоків.

Пластинчаті теплообмінники використовуються в системах опалення, вентиляції та кондиціонування повітря, а також в промислових процесах, де потрібно забезпечити ефективний обмін теплом між рідинами або газами. Вони компактні, зручні в обслуговуванні та можуть бути модульно розширені для збільшення продуктивності. Завдяки можливості легко замінювати або чистити пластини, вони довговічні та практичні в експлуатації.

Акумулятор із статичним теплоносієм є регенеративним теплообмінником, де накопичення та збереження тепла відбувається за допомогою матеріалу, що має високу теплопровідність і теплоємність. Конструкція передбачає резервуар, в якому теплоносії залишається в одному положенні, поступово нагріваючись від гарячого потоку і потім віддаючи тепло холодному потоку. Це дозволяє акумулювати значну кількість тепла для подальшого його використання, що знижує енергетичні витрати.

Цей тип теплообмінника застосовується в системах, де потрібно зберігати тепло на певний проміжок часу, наприклад, у промислових установках або побутових системах тепlopостачання. Такі акумулятори ефективно використовуються в циклічних процесах, оскільки дозволяють рівномірно розподілити надлишкову теплову енергію, забезпечуючи стабільність температури в системі.

Роторний теплообмінник – це тип регенеративного теплообмінника, який містить обертовий ротор (роторний диск), зроблений з матеріалу з високою теплопровідністю. Під час обертання ротор спочатку нагрівається від гарячого потоку, а потім, проходячи через зону холодного потоку, передає накопичене тепло холодному теплоносію. Завдяки обертанню ротор постійно акумулює і віддає тепло, що забезпечує ефективний і безперервний теплообмін.

Роторні теплообмінники застосовуються у вентиляційних та кондиціонерних системах, де необхідно мінімізувати втрати тепла в холодний період або забезпечити ефективний обмін холодом у спекотний період. Вони можуть мати високу ефективність передачі тепла та підвищують енергоефективність системи в цілому. Також такі теплообмінники здатні регулювати вологість повітря, що є додатковою перевагою в системах кондиціонування.

Система з проміжним теплоносієм працює на основі проміжного теплоносія, який переміщується між гарячою та холодною частинами теплообмінника, передаючи тепло поетапно. Проміжний теплоносій спочатку нагрівається в одному місці, а потім переміщується в інше, де віддає тепло. Така конструкція дозволяє розділити обидва потоки і зменшити можливість прямого контакту між ними, що є важливим для запобігання забруднення або змішування різних робочих середовищ.

Системи з проміжним теплоносієм застосовуються в ситуаціях, де потрібна висока ступінь розділення середовищ, наприклад, в хімічних і харчових виробництвах або у випадках, коли середовища мають різні фізичні властивості та можуть забруднювати один одного. Вони забезпечують надійну та гнучку систему регенерації тепла з можливістю адаптації під різні температурні умови та типи робочих середовищ.

Трубчатий теплообмінник є одним із найпоширеніших типів рекуперативних теплообмінників, який використовує трубчасту конструкцію для передачі тепла між двома середовищами, що циркулюють через нього. Основною складовою такого теплообмінника є пучок трубок, через які

проходить один з теплоносіїв, тоді як інший рухається по зовнішній поверхні трубок або в оболонці, омиваючи їх. Завдяки великій площі контакту між поверхнею трубок і потоком теплоносія, трубчатий теплообмінник забезпечує ефективне передавання тепла.

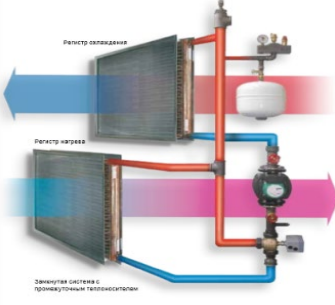
Конструкція може бути різною: одноходовою або багатходовою, прямоточним чи протиточним потоком, що дозволяє регулювати ефективність теплообміну. Можливість застосування різних матеріалів для виготовлення трубок (метали, сплави, пластики) також розширює можливості використання, дозволяючи працювати з агресивними середовищами або при високих температурах. Зазвичай трубчаті теплообмінники використовують в промислових процесах, таких як нафтопереробка, хімічне виробництво та енергетика, де потрібно забезпечити надійний та безперервний процес теплопередачі.

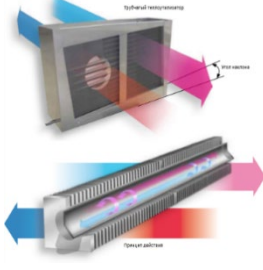
Трубчаті теплообмінники характеризуються простотою конструкції та надійністю, а також високою механічною стійкістю, що дозволяє витримувати високі тиски і температури. Крім того, вони добре адаптовані до роботи з різними середовищами – газами, рідинами або парами. Ці теплообмінники ефективні для тривалого використання, проте вимагають періодичного очищення для підтримки оптимальної теплопередачі, особливо при роботі з забрудненими рідинами або в умовах схильності до утворення відкладень.

Теплообмінники відіграють ключову роль в енергоефективності систем, забезпечуючи передачу тепла між середовищами з різними температурами. Різні типи теплообмінників — регенеративні та рекуперативні — адаптовані для певних умов роботи, що дозволяє обирати оптимальне рішення залежно від вимог до простору, тепловіддачі, температурного діапазону та необхідного обслуговування. Роторні теплообмінники добре підходять для підтримання вологості та стабільного обміну теплом, тоді як системи з проміжним теплоносієм дозволяють ефективно розділяти середовища, що знижує ризики забруднення.

Таблиця 1.1 – Переваги і недоліки існуючих теплообмінників

Тип	Переваги	Недоліки
 <p>Пластинчатий теплообмінник (рекуперативний)</p>	<p>- Здатні забезпечувати ступінь теплоутилізації на рівні 40–92 %, що дозволяє суттєво зменшувати втрати тепла і підвищувати ефективність роботи системи.</p> <p>- пластинчастий теплообмінник, має просту конструкцію і не має рухомих частин, що значно знижує потребу в частому технічному обслуговуванні.</p> <p>- в таких теплообмінниках немає споживачів електроенергії, що дозволяє зменшити експлуатаційні витрати і зробити систему економнішою в роботі.</p>	<p>– Для перетину припливного та витяжного повітря потрібен також перетин повітропроводів у рекуператорі, що може бути незручним або важкодоступним у деяких системах.</p> <p>– у холодний період пластинчастий теплообмінник схильний до обмерзання. Щоб уникнути цього, необхідно або періодично вимикати припливний вентилятор, або використовувати байпасний клапан, що ускладнює експлуатацію та обслуговування системи.</p>
 <p>Акумулятор із статичним теплоносієм (регенеративний)</p>	<p>– ступінь теплоутилізації становить 80–90 %</p>	<p>– присутня рухома заслінка, що може привести до перемішування повітряних потоків.</p>
 <p>Роторний теплообмінник (регенеративний)</p>	<p>- ступінь теплоутилізації від 60 до 85%, що дозволяє ефективно використовувати тепло, яке зазвичай втрачається.</p> <p>- крім тепла, роторний теплообмінник може також переносити вологу між потоками повітря, що корисно для підтримки оптимальної вологості в приміщеннях.</p> <p>- за допомогою зміни швидкості обертання ротора можна</p>	<p>- для забезпечення контакту між припливним і витяжним повітрям необхідно, щоб вони проходили через одну і ту саму частину рекуператора. Це може створити складнощі при плануванні системи, особливо в обмежених просторах або при специфічних вимогах до конструкції.</p> <p>- у процесі теплообміну частина забрудненого повітря з витяжки може потрапляти в припливне,</p>

Тип	Переваги	Недоліки
	<p>налаштувати ефективність рекуператора для досягнення оптимального енергозбереження залежно від потреб.</p>	<p>що потребує встановлення додаткових фільтрів на обох потоках. Це додає додаткові витрати на обладнання та обслуговування.</p>
 <p>Система с проміжним теплоносієм (регенеративний)</p>	<ul style="list-style-type: none"> - такі теплообмінники забезпечують ефективність теплоутилізації на рівні 50-65%, що допомагає зберігати значну частину тепла від витяжного повітря, знижуючи витрати на обігрів припливного повітря. - витяжне та припливне повітря рухаються по різних каналах без змішування, що виключає перенесення забрудненого повітря з витяжки у приплив, забезпечуючи якість повітря в приміщенні. - можливість розташувати припливний і витяжний теплообмінники на різній відстані один від одного дозволяє адаптувати систему під конкретні архітектурні умови та потреби об'єкта. - можна інтегрувати кілька витяжних і припливних каналів у одну загальну систему рекуперації, що особливо зручно в великих будівлях, де потрібно обробляти повітря в багатьох приміщеннях. 	<ul style="list-style-type: none"> - система потребує установки водяної магістралі, водяного насоса та інших пристроїв для циркуляції теплоносія, що ускладнює монтаж і збільшує вартість. - для роботи водяного насоса витрачається електроенергія, а віддаленість теплообмінників може призводити до тепловтрат. Через це система може стати неекономічною, якщо припливний і витяжний теплообмінники розташовані на значній відстані один від одного. - такі рекуператори здатні забезпечувати лише теплообмін, тобто передавати теплову енергію без можливості передачі вологи, що може бути важливим для підтримки комфортного рівня вологості в приміщенні. - ці теплообмінники не здатні передавати вологу між витяжним і припливним повітрям, що обмежує їх ефективність у забезпеченні комфортного мікроклімату в приміщеннях з низькою вологістю.

Тип	Переваги	Недоліки
 <p data-bbox="279 571 518 694">Трубчатий теплообмінник (рекуперативний)</p>	<p data-bbox="598 212 1053 392">– конструкція цього теплообмінника повністю герметична, що виключає ризик перетікання чи змішування повітря між повітроводами.</p>	<p data-bbox="1077 212 1508 548">– невисокий коефіцієнт корисної дії (ККД), який зазвичай становить близько 45–60 %, такий рівень ККД обумовлений конструктивними особливостями та обмеженою теплопередачею через стінки трубок.</p>

Пластинчастий теплообмінник виявляється найбільш універсальним та ефективним серед інших типів. Його компактна і модульна конструкція забезпечує високу тепловіддачу на невеликій площі, що особливо важливо для систем з обмеженим простором. Легкість обслуговування та можливість регулювання кількості пластин під різні умови роботи роблять пластинчастий теплообмінник оптимальним вибором для широкого спектра застосувань, від побутових систем до промислових процесів, де ефективність та надійність мають вирішальне значення.

1.4 Огляд наукових досліджень

Пластинчасті теплообмінники привертають значну увагу дослідників у різних галузях через їх ефективність та широке застосування. У зв'язку з цим актуально вивчити та проаналізувати існуючі дослідження для глибшого розуміння їх характеристик і можливостей вдосконалення.

Зростання потреби в енергоефективних технологіях є глобальною тенденцією, яка стимулюється одразу кількома факторами. Перш за все, це обмеженість викопних ресурсів, що призводить до постійного підвищення цін

на енергію. По-друге, це екологічні проблеми, зокрема викиди парникових газів, які впливають на зміну клімату. Зрештою, дедалі більші вимоги до комфорту у сучасних будівлях сприяють розробці нових інженерних рішень, які забезпечують збереження енергії та одночасно підтримують здоровий мікроклімат у приміщеннях.

У цьому контексті енергозберігаючі вентиляційні установки з відновленням тепла (ЕВУВТ) стали важливим компонентом сучасних будівель. Ці системи дозволяють забезпечувати приплив свіжого повітря без значних втрат теплової енергії, що робить їх незамінними для енергоефективних споруд. Особливо актуальними такі установки є для будівель з високим рівнем герметизації, де природний повітрообмін обмежений. ЕВУВТ дозволяють вирішити проблему накопичення вуглекислого газу та інших забруднювачів у приміщеннях, водночас зберігаючи тепло взимку або прохолоду влітку.

У дослідженні, увагу було зосереджено на аналізі роботи енергозберігаючої вентиляційної установки з фіксованими пластинами. Особливістю цієї роботи є поєднання експериментального аналізу та числового моделювання, що дозволило отримати всебічне розуміння процесів, які відбуваються у системі під час її роботи. Основною метою дослідження було визначення ефективності роботи ЕВУВТ за різних умов, таких як швидкість повітряного потоку, властивості теплообмінника та інші параметри. Отримані результати є важливими як для вдосконалення конструкцій таких систем, так і для їх ефективного застосування у реальних умовах.

Дослідження базувалося на двох ключових підходах: експериментальному аналізі та числовому моделюванні. Така комбінація методів забезпечила максимально точний і комплексний аналіз роботи установки.

Для проведення дослідження було розроблено спеціальний тестовий стенд, який дозволяв імітувати роботу ЕВУВТ у реальних умовах. Теплообмінник було встановлено між двома приміщеннями з різними температурними режимами. Одне приміщення утримувалося при низькій

температурі (2 °C), а інше підтримувалося у теплому стані (20 °C). Це дозволило дослідити, як теплообмінник передає енергію від теплового потоку повітря до холодного або навпаки.

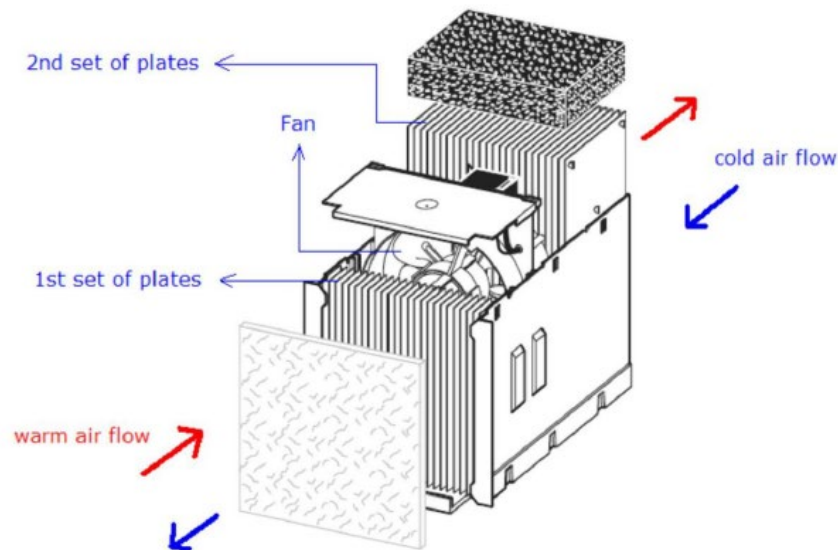


Рисунок 1.2 - Вид вентилятора з рекуперацією енергії з фіксованою пластиною.

Для забезпечення циркуляції повітря використовувався двонаправлений вентилятор, який змінював напрямок потоку кожні 80 секунд. Це створювало умови, за яких теплообмінник по чергово поглинав і віддавав тепло. Температура вимірювалася за допомогою високоточних термометрів, розташованих на вході та виході повітря, а також на поверхні пластин теплообмінника. Усі дані збиралися та оброблялися за допомогою системи збору даних, що дозволяло аналізувати зміну температури в реальному часі.

Паралельно з експериментами було створено тривимірну числову модель у програмному середовищі MATLAB. Ця модель базувалася на дискретизації конструкції теплообмінника на численні дрібні комірки, що дозволило детально дослідити процеси теплопередачі. У моделі враховувалися ключові параметри, такі як розміри та матеріал пластин (алюміній), швидкість повітряного потоку, а також фізичні властивості повітря.

Числова модель дозволила врахувати вплив конвекції та теплопровідності, які є основними механізмами передачі теплової енергії в системі. Для перевірки її точності результати моделювання було порівняно з даними, отриманими під час експериментів. Це підтвердило здатність моделі точно відтворювати поведінку системи за різних умов.

Результати показали, що при низькій швидкості повітряного потоку (0,0055 кг/с) ефективність тепловідновлення становила 62%. У цьому режимі повітря перебувало в теплообміннику довший час, що сприяло ефективнішій передачі тепла між потоком повітря та пластинами теплообмінника. Цей результат підтверджує, що для максимального збереження енергії необхідно забезпечити повільний рух повітря через систему.

Зі збільшенням швидкості повітряного потоку до 0,046 кг/с ефективність тепловідновлення знижувалася до 34,5%. У цьому режимі час контакту повітря з пластинами значно скорочувався, що обмежувало кількість переданої енергії. Проте такий режим роботи дозволяв швидше змінювати температуру в приміщенні, що може бути важливим у певних умовах експлуатації.

Числова модель продемонструвала високу точність у відтворенні процесів, що відбувалися в системі. Похибка моделі становила лише 3–4% порівняно з експериментальними даними, що підтверджує її придатність для подальших досліджень. Окрім цього, модель дозволила оцінити вплив зміни матеріалу пластин або геометрії теплообмінника на ефективність системи, що відкриває можливості для її подальшого вдосконалення.

Ефективність енергозберігаючих вентиляційних установок з рекуперацією тепла при низьких швидкостях повітряного потоку вища, але для більш швидкого впливу на внутрішній клімат потрібно використовувати декілька установок або регулювати властивості матеріалів теплообмінника.

Створена числова модель успішно відтворює поведінку системи енергозберігаючої вентиляційної установки з рекуперацією тепла і може бути використана для оптимізації її конструкції.

Це дослідження пропонує цінну інформацію для подальшої оптимізації енергозберігаючих вентиляційних установок з рекуперацією тепла з метою підвищення енергоефективності будівель, особливо в умовах зростаючого попиту на енергоефективні технології в будівельній галузі.

Це дослідження пропонує, тестує та всебічно досліджує застосування mesh-net для підвищення ефективності будь-якого повітряно-повітряного пластинчастого теплообмінника (головним чином як блок рекуперації тепла в будівлі). Ідея перевірена на комерційній установці рекуперації тепла, і всі параметри, включаючи число Нуссельта, перепад тиску, коефіцієнт тертя, коефіцієнт термічної продуктивності, ефективність, кількість теплових одиниць, потужність насоса та економічну рентабельність, всебічно досліджуються та повідомляються з сіткою та без неї. сітчаста вставка. В економічній оцінці ціна електроенергії та тип системи опалення будівлі (резистивний нагрівач, тепловий насос тощо) розглядаються.

При максимальних витратах повітря загальний коефіцієнт теплопередачі підвищується з 24 до 36 Вт/м²К. Число Нуссельта збільшується до 75 % залежно від швидкості потоку повітря. Економічні результати виявилися дуже цікавими, і навіть якщо сплачувати додаткову потужність вентилятора через вищий перепад тиску, економічна рентабельність є позитивною, коли система опалення будівлі є резистивним нагрівачем або тепловим насосом з нижчим коефіцієнтом корисної дії.

Рентабельність сітчастої вставки вища для регіону з вищою ціною на електроенергію. Це означає, що отримане відновлене тепло перевершує додаткову енергію, необхідну для перекачування потужності. Тим не менш, прийняття остаточного рішення з чисто економічної точки зору залежить від бажаної швидкості потоку припливного повітря, типу системи опалення та місцевої ціни електроенергії.

Конфігурація потоку поточного теплообмінника повітря-повітря є конфігурацією перехресного потоку, як показано на рис. 1.3. Коли теплообмінник повітря-повітря використовується як блок рекуперації

тепла/вентилятора протягом зими, зовнішнє холодне свіже повітря та повітря в приміщенні проходять через теплообмінник, викликаючи процес попереднього нагрівання повітря, що надходить у будівлю. Цей процес зменшує енергію, необхідну для процесу нагрівання повітря в будівлі, порівняно з процесом чистої вентиляції. Дійсно, частина енергії повітря в приміщенні, яка була попередньо нагріта, передається в надходить свіже холодне повітря. Рекуперація енергії за допомогою такої установки рекуперації тепла економить витрати на електроенергію для будівель, у яких потрібна значна вентиляція на додаток до процесу нагріву повітря.

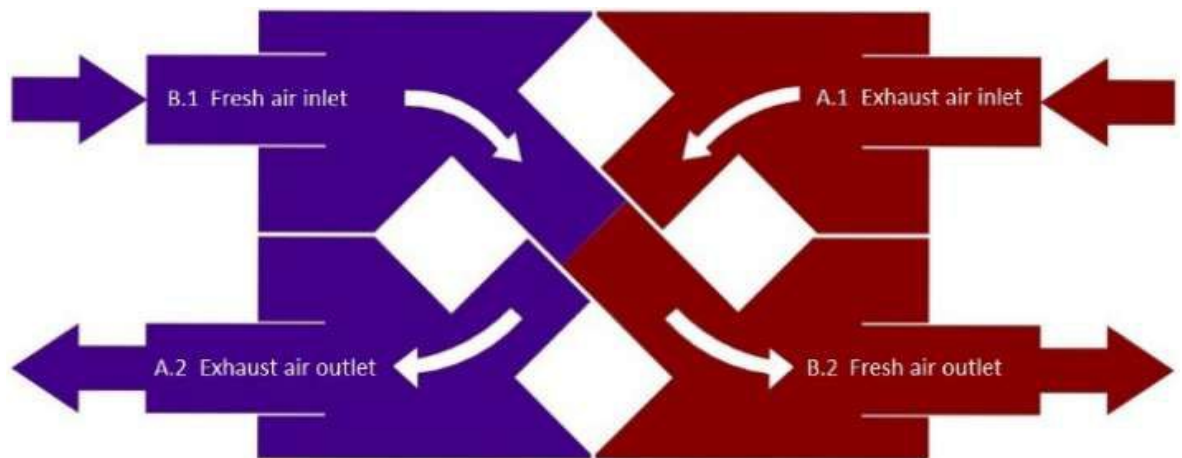


Рисунок 1.3 - Схема повітряно-повітряного теплообмінника.

Застосовуваною комерціалізованою установкою для рекуперації тепла є вентилятор standex energy recovery ventilator (модель ERV200SC). Максимальний чистий потік повітря, вказаний виробником, становить 97 і 87 л/с при 50 і 100 Па відповідно. Крім того, у їхній брошурі повідомляється про розумну ефективність відновлення близько 60.

Дротова сітка була використана як засіб для посилення теплообміну в пластинчастому теплообміннику. Дротяна сітка функціонує, збільшуючи турбулентність потоку рідини в пластині теплообмінника, що забезпечує більш ефективну передачу тепла. Теплообмінник тестували за двома сценаріями: (А) без турбулятора, (В) з турбуляторами, встановленими в каналі (див. рис. 1.4). У цьому дослідженні використовувався пластинчастий теплообмінник з нержавіючої сталі обладнаний турбуляторами, кожна з яких має розмір пластини 240 мм × 240 мм.

Рідина, що проходить через обидва канали, є повітрям з температурою на вході близько $38\text{ }^{\circ}\text{C}$ для гарячого каналу та близько $26\text{ }^{\circ}\text{C}$ для холодного каналу. Кожен з холодного і гарячого струмів складається з 60 каналів. Для кожної заданої об'ємної витрати в гарячому каналі вимірюються чотири відповідні об'ємні витрати в холодному каналі.

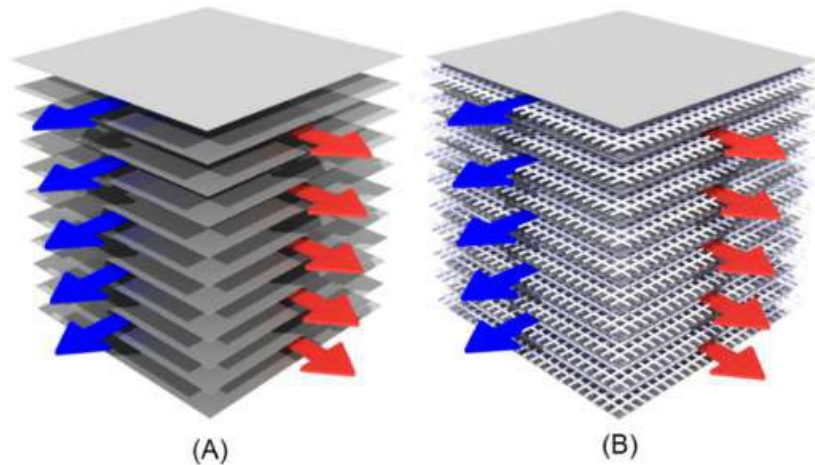


Рисунок 1.4 - Схеми теплообмінника без турбулятора (А), з турбулятором (В)

Основні результати дослідження показали, що додавання сітки значно збільшує коефіцієнт теплопередачі, ефективність та економічну доцільність використання теплообмінника. Завдяки вставці сітки коефіцієнт теплопередачі зріс з 24 до $35\text{ Вт/м}^2\text{К}$, а число Нуссельта підвищилося на 75% залежно від швидкості потоку повітря. Економічний аналіз засвідчив, що, незважаючи на збільшення споживаної потужності вентилятора через підвищення перепаду тиску, така модифікація може бути вигідною в умовах високої вартості електроенергії та використанні опалювальних систем з електричним опором або тепловими насосами з низьким коефіцієнтом продуктивності (COP).

Також дослідження виявило, що ефективність системи (досягає 0.98 при максимальних обсягах повітряного потоку) є особливо високою, коли сітка встановлена на обох сторонах теплообмінника. При цьому тиск у системі збільшувався, що потребувало додаткових витрат на живлення вентиляторів, але компенсувалося економією на опаленні.

Завдяки використанню сітчастої вставки ефективність теплообмінника досягає 0.98 при максимальних обсягах повітряного потоку. Це означає, що теплообмінник з сіткою краще зберігає та передає тепло, зменшуючи витрати енергії на опалення.

Застосування сітчастих вставок є особливо доцільним у вентиляційних системах з високим обсягом повітряного потоку. Це дозволяє знизити загальні енергетичні витрати, підвищити теплову продуктивність та зменшити витрати на обігрів будівель.

Це дослідження пропонує одне з рішень, яке підвищує енергоефективність та теплопередачу в системах вентиляції будівель, забезпечуючи при цьому технічні та економічні переваги.

Виходячи з огляду наукових досліджень, можна зробити висновок, що рекуперативні системи є ефективним інструментом для покращення енергоефективності в різних галузях, зокрема в птахівничих приміщеннях. Вони сприяють зниженню витрат енергії, що є важливим аспектом в умовах сучасного розвитку агропромислового комплексу, зокрема з урахуванням потреби в зменшенні негативного впливу на навколишнє середовище.

Чисельне моделювання широко використовується в наукових дослідженнях для аналізу та оптимізації роботи рекуперативних систем, оскільки воно дозволяє детально вивчити процеси теплообміну та розподілу повітря в різних умовах експлуатації. Завдяки такому підходу можна точно прогнозувати поведінку системи, оптимізувати її компоненти та варіанти налаштувань для досягнення максимальної енергоефективності.

Оскільки чисельне моделювання є потужним інструментом у наукових дослідженнях, ми також використовуватимемо цей метод у нашому дослідженні. У наступній главі ми розглянемо методику чисельного моделювання, яку застосуємо для розрахунку ефективності рекуператорів у птахівничих приміщеннях. Це дозволить нам більш детально проаналізувати взаємодію тепла та повітряних потоків, виявити оптимальні параметри системи

та на основі отриманих результатів зробити висновки про доцільність та економічну ефективність впровадження рекуперативних технологій.

1.5 Висновки

1. Кожна система мікроклімату пропонує унікальні переваги, адаптовані до різних кліматичних умов і потреб приміщення, забезпечуючи вирощування птиці в оптимальних умовах. Сучасні птахівничі підприємства часто використовують комбінацію цих систем для досягнення точного контролю середовища. Інтегруючи природну та механічну вентиляцію, регулювання температури, контроль вологості та очищення повітря, птахофабрики можуть максимізувати добробут птахів, продуктивність і довголіття, мінімізуючи при цьому ризик захворювань і негативних наслідків для здоров'я.

2. Впровадження сучасних енергоефективних технологій та автоматизації дозволяє значно скоротити споживання ресурсів, зменшити витрати та підвищити продуктивність у фермерських господарствах. Використання інноваційних систем у вентиляції, освітленні, опаленні та енергозабезпеченні створює сприятливі умови для утримання тварин і сприяє сталому розвитку, зберігаючи природні ресурси та фінансові витрати.

3. Теплообмінники відіграють ключову роль в енергоефективності систем, забезпечуючи передачу тепла між середовищами з різними температурами. Різні типи теплообмінників - регенеративні та рекуперативні - адаптовані для певних умов роботи, що дозволяє обирати оптимальне рішення залежно від вимог до простору, тепловіддачі, температурного діапазону та необхідного обслуговування. Роторні теплообмінники добре підходять для підтримання вологості та стабільного обміну теплом, тоді як системи з проміжним теплоносієм дозволяють ефективно розділяти середовища, що знижує ризики забруднення.

Пластинчастий теплообмінник виявляється найбільш універсальним та ефективним серед інших типів. Його компактна і модульна конструкція

забезпечує високу тепловіддачу на невеликій площі, що особливо важливо для систем з обмеженим простором. Легкість обслуговування та можливість регулювання кількості пластин під різні умови роботи роблять пластинчастий теплообмінник оптимальним вибором для широкого спектра застосувань, від побутових систем до промислових процесів, де ефективність та надійність мають вирішальне значення.

4. Виходячи з огляду наукових досліджень, можна зробити висновок, що рекуперативні системи є ефективним інструментом для покращення енергоефективності в різних галузях, зокрема в птахівничих приміщеннях. Вони сприяють зниженню витрат енергії, що є важливим аспектом в умовах сучасного розвитку агропромислового комплексу, зокрема з урахуванням потреби в зменшенні негативного впливу на навколишнє середовище.

Чисельне моделювання широко використовується в наукових дослідженнях для аналізу та оптимізації роботи рекуперативних систем, оскільки воно дозволяє детально вивчити процеси теплообміну та розподілу повітря в різних умовах експлуатації. Завдяки такому підходу можна точно прогнозувати поведінку системи, оптимізувати її компоненти та варіанти налаштувань для досягнення максимальної енергоефективності.

Оскільки чисельне моделювання є потужним інструментом у наукових дослідженнях, ми також використовуватимемо цей метод у нашому дослідженні. У наступній главі ми розглянемо методику чисельного моделювання, яку застосуємо для розрахунку ефективності рекуператорів у птахівничих приміщеннях. Це дозволить нам більш детально проаналізувати взаємодію тепла та повітряних потоків, виявити оптимальні параметри системи та на основі отриманих результатів зробити висновки про доцільність та економічну ефективність впровадження рекуперативних технологій.

2 ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ РЕКУПЕРАТОРА ТЕПЛОТИ

2.1 Програма та методика досліджень цифрової моделі

Рівень теплоутилізації визначався на основі отриманих даних температур, які були зафіксовані в ході дослідження. Співвідношення подачі повітря в каналах вентиляційної системи розраховувались, виходячи з обсягів подачі вентиляторів. При цьому варто зазначити, що продуктивність витяжного вентилятора залишалася незмінною протягом експерименту, тоді як продуктивність припливного вентилятора регулювалася.

Зокрема, продуктивність припливного вентилятора змінювалася в межах трьох значень, які становили 0,5, 1,0 та 1,5 відносно продуктивності витяжного вентилятора. Такий підхід дозволяв оцінити вплив зміни співвідношення обсягів повітря, що подається та витягується, на ефективність системи теплоутилізації. Завдяки цьому можна було визначити оптимальні параметри роботи вентиляційної системи для забезпечення максимального рівня утилізації тепла. Тобто

$$Q_3 = k \cdot Q_6, \quad (2.1)$$

де Q_6 , Q_3 – продуктивність витяжного та припливного вентиляторів, м³/год.

Формула для обчислення ступеня теплоутилізації:

$$\lambda = \frac{100 \cdot Q_3 (t_3 - t_n)}{Q_6 t_6}, \quad (2.2)$$

де t_6 , t_3 – температура внутрішнього та зовнішнього повітря відповідно, °С;

$t_{\text{п}}$ – температура на виході з рекуператора в припливному каналі, °С;

$Q_{\text{з}}, Q_{\text{в}}$ – подача внутрішнього та зовнішнього повітря відповідно, м³/с.

Швидкість руху повітря контролювали за допомогою анемометра Benetech GM816, отримані показники перераховували у показники подачі:

$$Q = V \cdot S = V \cdot \frac{\pi \cdot d^2}{4}, \quad (2.3)$$

де V – швидкість повітряного потоку (покази анемометра Benetech GM816) м/с;

S – площа перерізу патрубкa, м²;

d – діаметр відповідного патрубкa, м.

Подачу вентиляторів встановлювали зміною напруги живлення електродвигунів приводу у відповідності до виразу:

$$V = \frac{Q}{S} = \frac{4Q}{\pi \cdot d^2}, \quad (2.4)$$

Q – подача відповідного вентилятора, м³/с.

2.2 Конструктивні параметри пластинчастого теплообмінника перехресного ходу

Визначившись з типом теплообмінника провели чисельне моделювання, з метою визначити теплофізичні параметри процесу роботи каналного теплоутилізатора птахівничих приміщень. Чисельне моделювання процесу роботи пластинчастого рекуператора птахівничих приміщень було реалізовано в програмному пакеті Simcenter Star-CCM+.

Конструктивні параметри каналного теплоутилізатора птахівничих приміщень наведено на рис. 2.1.

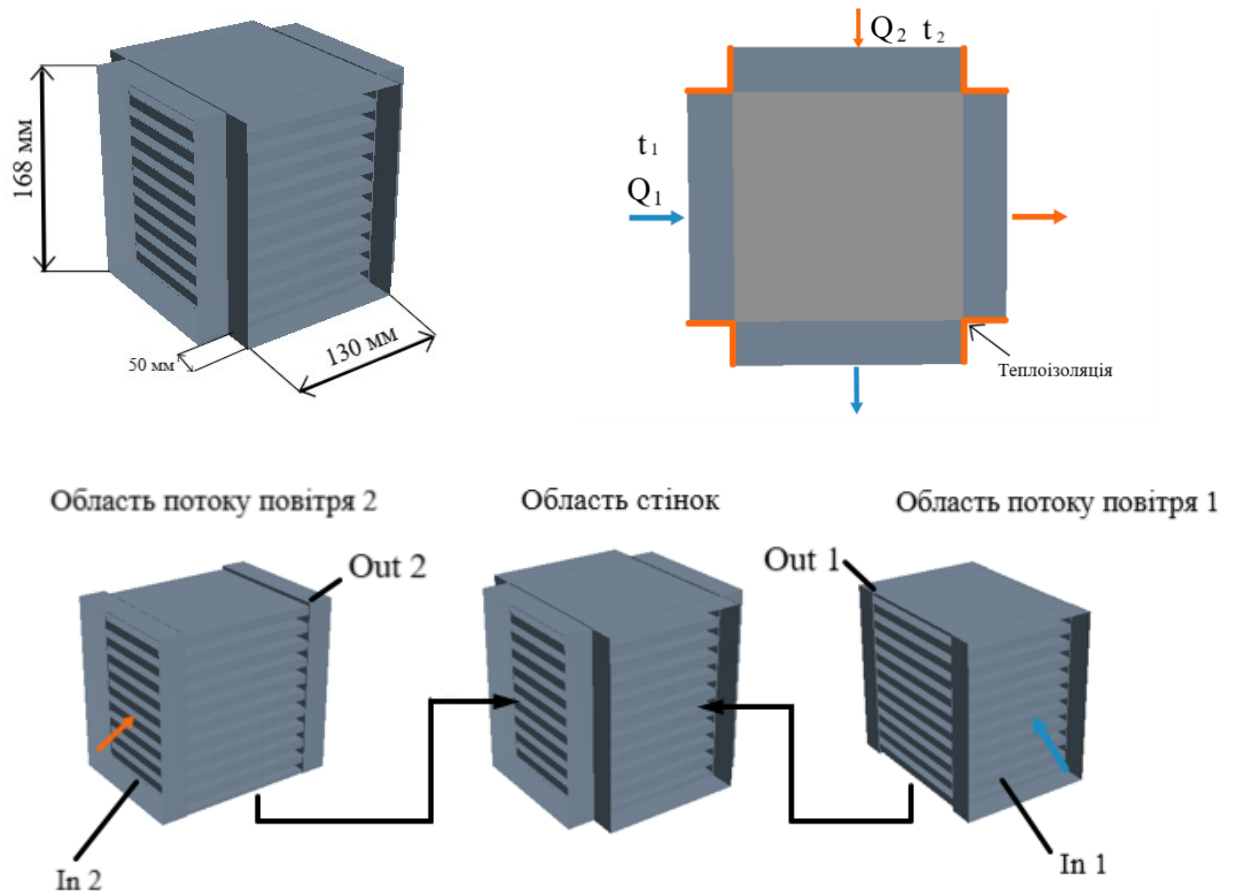


Рисунок 2.1 – Конструктивні параметри теплоутилізатора птахівничих приміщень

Модель повинна складатися з трьох областей: 2 області повтряного потоку і 1 область стінок теплоутилізатора (рис. 2.1). Потік повітря представлений двома фазами повітря. Матеріал стінки теплоутилізатора – алюміній. Фізико-механічні властивості всіх фаз моделювання зведено у табл. 2.2.

Як моделі сітки повинні обрані наступні: генератор багатограних комірок (Polyhedral Mesher), генератор поверхневої сітки (Surface Remesher). Базовий розмір сітки (Base Size) має становити 0,01 м.

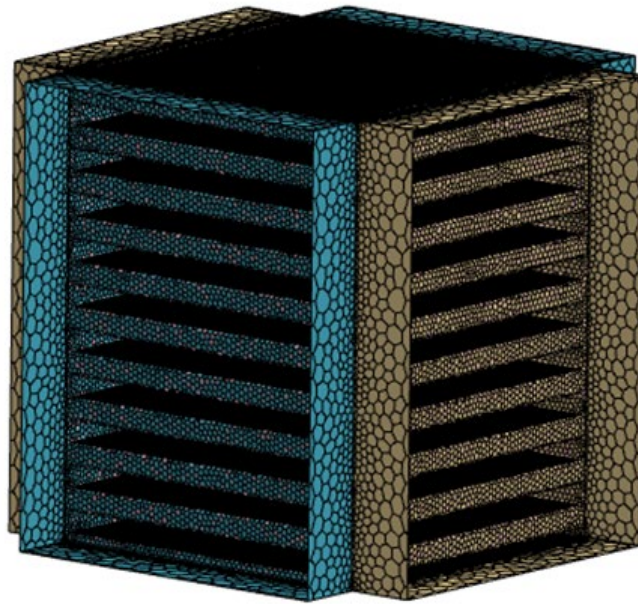


Рисунок 2.2 – Сітка областей моделювання

Як фізичні моделі для областей потоку повітря (Gas) повинні обрані наступні: K-Epsilon модель турбулентності (K-Epsilon Turbulence), допустима двошарова K-Epsilon (Realizable K-Epsilon Two-Layer), турбулентний (Turbulent), двошарова для будь-яких y^+ (Two-Layer All y^+ Wall Treatment), сполучене рішення рівняння енергії (Conjugate solution of the energy equation), реальний газ (Real Gas), осереднення по Рейнольдсу рівняння Нав'є-Стокса (Reynolds-Averaged Navier-Stokes), дистанція стінки (Wall Distance), нестационарний неявний (Implicit Unsteady), тривимірний (Three Dimensional), градієнти (Gradients), Van der Waals, сполучена течія (Conjugate flow).

Як фізичні моделі для області стінок (Solid) обрані такі: градієнти (Gradients), тривимірний (Three Dimensional), суцільний (Solid), постійна щільність (Constant thickness), нестационарний неявний (Implicit Unsteady), сполучене рішення рівняння енергії (Conjugate solution of the energy equation).

Початкові умови: температура (Static Temperature) – 25°C.

Для області потоку повітря (Область 1) і (Область 2) модель Gas.

Тип границі Область 1 → in 1 – швидкість на вході (Velocity Inlet).
 Статистична температура – фактор досліджень 25 °C. Об’ємна частка фаз: повітря – 1. Амплітуда швидкості – фактор досліджень V_1 (м/с).

Тип границі Область 1 → out 1 – вихід (Flow Split Outlet).

Тип границі Область 2 → in 2 – швидкість на вході (Velocity Inlet).
 Статистична температура – фактор досліджень T (°C). Об’ємна частка фаз: повітря-1. Амплітуда швидкості – фактор досліджень V_2 (м/с).

Тип границі Область 2 → out 2 – вихід (Flow Split Outlet).

Для області стінок (Wall) обрано тип область твердого тіла (Solid Region) і модель Solid.

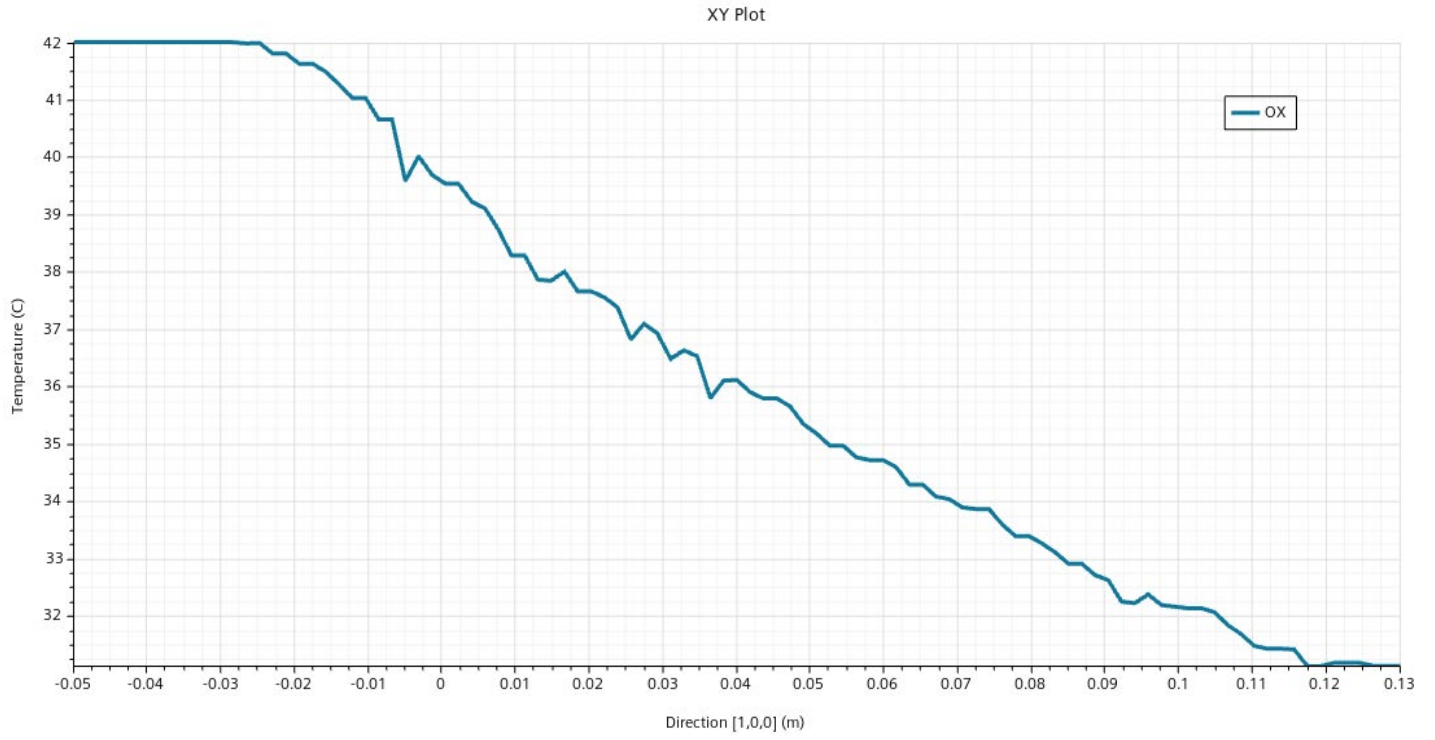
Модель повинна містити інтерфейси взаємодії областей: Область 1/Wall і Область 2/Wall. Тип інтерфейсів – контактний інтерфейс (Contact Interface).

2.3 Результати моделювання

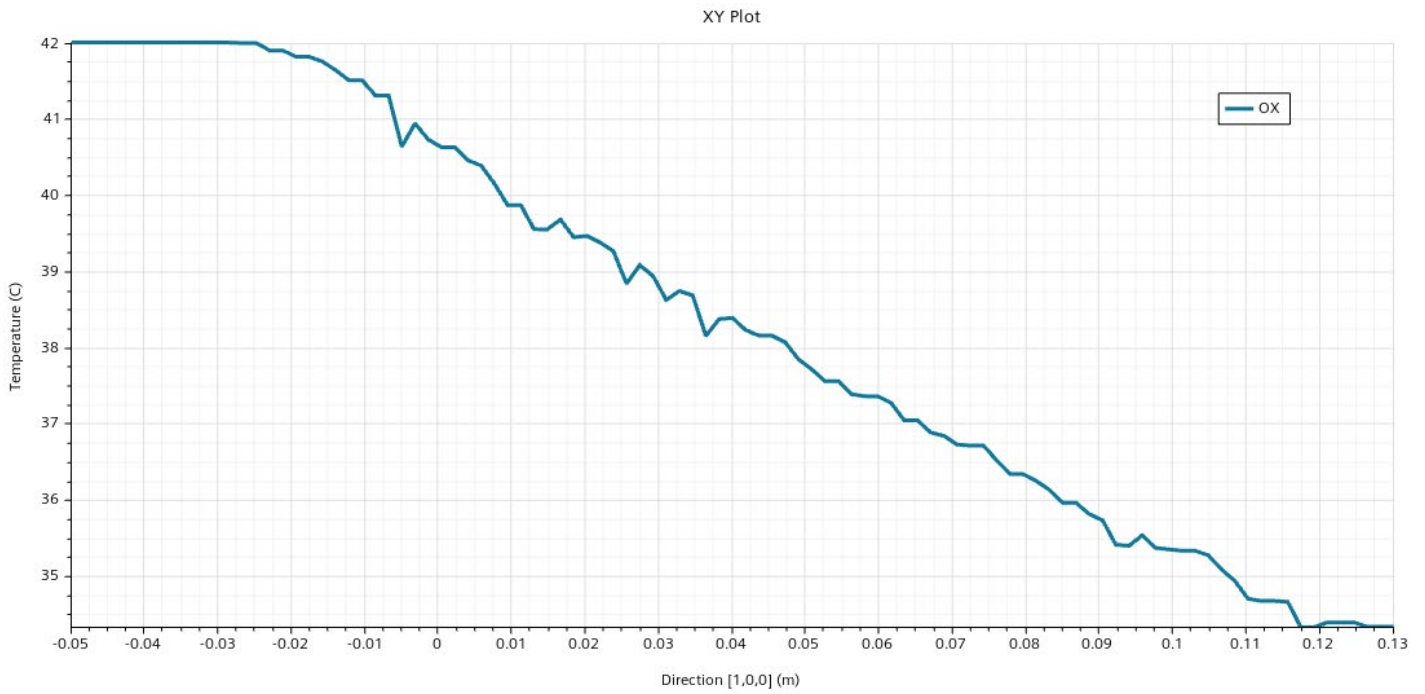
У результаті моделювання отримано 9 графіків відображення результатів. Для прикладу візьмемо 3 з них.

На цих графіках видно, що температура найбільше знижується при швидкості 1,2 м/с, а найменше — при швидкості 3,6 м/с. Це явище пояснюється особливостями теплообміну між потоком повітря і нагрівальною поверхнею. При меншій швидкості потік повітря знаходиться у більш тривалому контакті з нагрівальними елементами, що забезпечує ефективніший теплообмін. У свою чергу, при збільшенні швидкості до 3,6 м/с знижується час контакту, що зменшує кількість тепла, переданого повітрю.

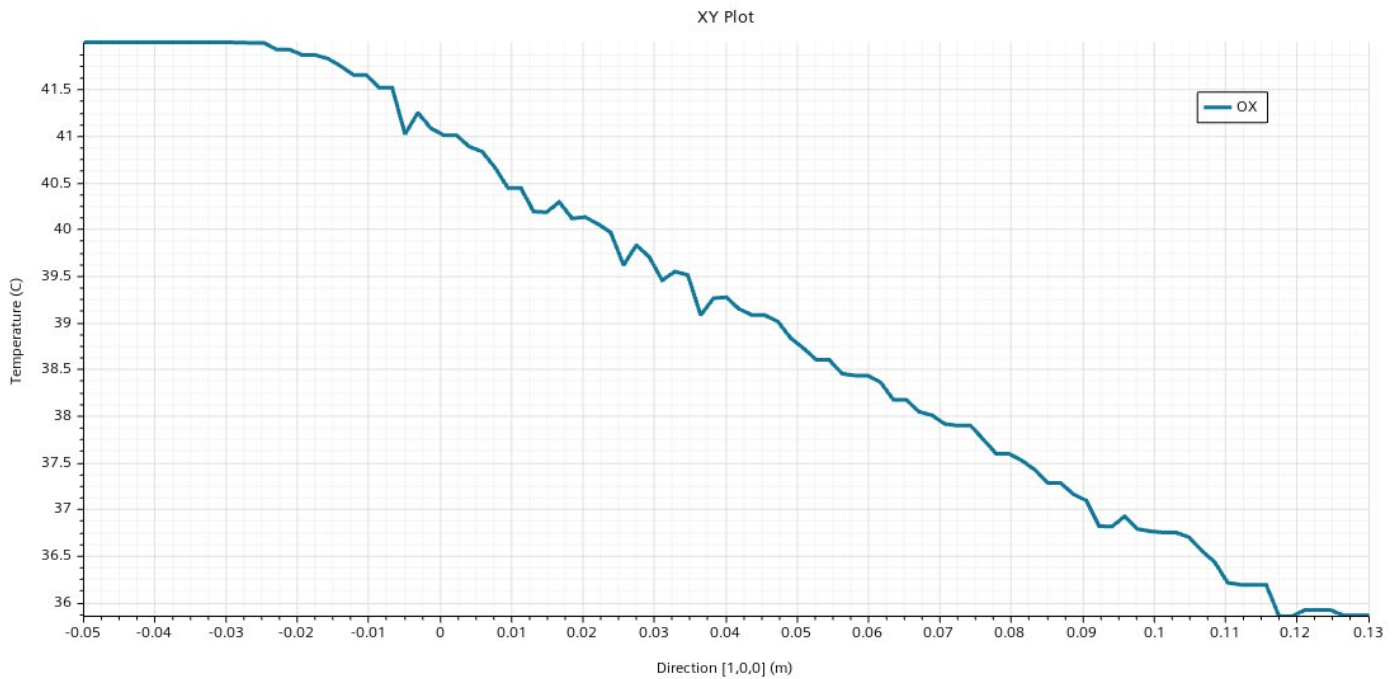
Окрім цього, при високій швидкості частина енергії, витраченої на нагрівання, не використовується, не забезпечуючи належної теплової ефективності. Це призводить до збільшення втрат тепла і зменшення коефіцієнта корисної дії системи. Таким чином, оптимізація швидкості потоку є важливим фактором для підвищення ефективності процесу.



a)



b)



в)

Рисунок 2.3 – Графіки зміни температури при різних швидкостях: а) при швидкості 1,2 м/с, б) при швидкості 2,4 м/с, в) при швидкості 3,6 м/с.

Результати всіх досліджень можна побачити у таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 – Результати експериментальних досліджень

№	Фактор x_1		Фактор x_2 $t_b, ^\circ\text{C}$	Діаметр пагубка теплоутилізатора, м		Швидкість повітряного потоку у вип'ячному каналі, V_b	Подача у вип'ячному каналі, Q_{II}	Температура зовнішнього t_3	Температура повітря в приливному t_{II}	Ступінь теплоутилізації, % λ
	V_3	$Q_3, \text{M}^3/\text{c}$		d_3	d_b					
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	1,2	0,006	42	0,08	0,08	2,4	0,012	25	31,2	7,38
2	2,4	0,012	42	0,08	0,08	2,4	0,012	25	34,4	22,38
3	3,6	0,018	42	0,08	0,08	2,4	0,012	25	36	39,28
4	1,2	0,006	37	0,08	0,08	2,4	0,012	25	29,5	6,08
5	2,4	0,012	37	0,08	0,08	2,4	0,012	25	31,5	17,56
6	3,6	0,018	37	0,08	0,08	2,4	0,012	25	32,8	31,62
7	1,2	0,006	32	0,08	0,08	2,4	0,012	25	27,6	4,06
8	2,4	0,012	32	0,08	0,08	2,4	0,012	25	28,9	12,18
9	3,6	0,018	32	0,08	0,08	2,4	0,012	25	29,5	21,09

Після досліджень з отриманих в таблиці даних побудуємо графіки залежності.

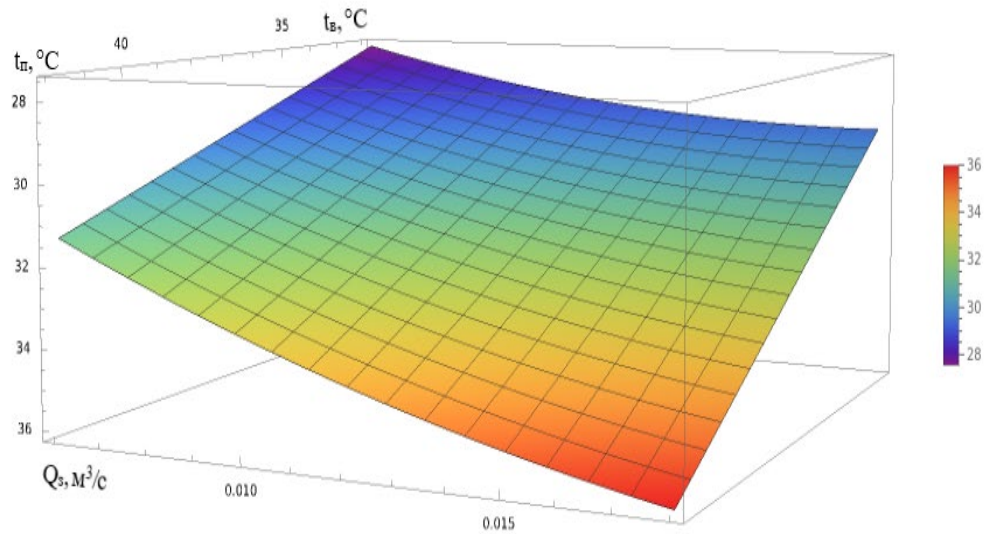


Рисунок 2.4 – Залежність температури повітря в припливному каналі після рекуператора від подачі внутрішнього та зовнішнього повітря Q_3 та температури внутрішнього повітря $t_{в}, ^\circ\text{C}$.

Для дослідження температурного режиму в припливному каналі після рекуператора було визначено основні фактори впливу: подача внутрішнього та зовнішнього повітря (Q_3) і температура внутрішнього повітря ($t_{в}, ^\circ\text{C}$). Використовуючи методи регресійного аналізу, побудовано математичну модель, що описує залежність температури повітря в каналі від цих параметрів. Отримане рівняння регресії має наступний вигляд:

$$\begin{aligned}
 t_{п} = & 17.7567 - 283.056x_1 - 13888.9x_1^2 + 0.23x_2 + & (2.8) \\
 & + 24.1667x_1x_2 + 7.40472 \times 10^{-17}x_2^2 \\
 t_{п} = & \{36.0917, \{x_1 \rightarrow 0.018, x_2 \rightarrow 42.\}\}
 \end{aligned}$$

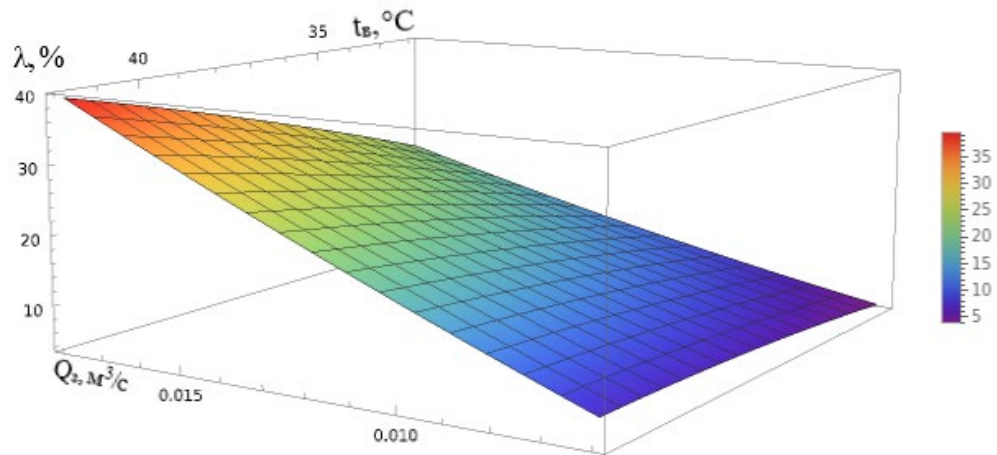


Рисунок 2.5 – Залежність ступеня теплоутилізації λ від подачі внутрішнього та зовнішнього повітря Q_3 та температури внутрішнього повітря $t_{в}$, °C.

На основі проведених експериментальних досліджень було визначено ключові фактори, що впливають на ступінь теплоутилізації λ . З використанням методу регресійного аналізу побудовано математичну модель, яка дозволяє оцінити залежність цього показника від варіацій досліджуваних факторів. Отримане рівняння регресії має наступний вигляд:

$$\begin{aligned} \lambda = & -25.4412 - 3101.86x_1 + 24398.1 + & (2.9) \\ & + 1.61733x_2 + 123.917x_1x_2 - 0.0276667x_2^2 \\ \lambda = & \{39.4353, \{x_1 \rightarrow 0.018, x_2 \rightarrow 42.\}\} \end{aligned}$$

Таким чином, з отриманих рівнянь необхідно вирішити усереднену задачу для визначення середнього значення досліджуваного показника. Це дозволить узагальнити результати та отримати показник, який враховує варіації вхідних параметрів і максимально відповідає реальним умовам роботи системи. Такий підхід забезпечує практичну цінність моделі та сприяє її ефективному застосуванню в подальших дослідженнях чи експлуатації.

2.4 Висновки

У розділі розглянуто чисельне моделювання теплообміну в пластинчастому теплообміннику перехресного ходу. Проведені дослідження показали, що температура повітря зменшується найбільше при швидкості 1,2 м/с та найменше — при швидкості 3,6 м/с. Це пов'язано з тим, що при нижчій швидкості потік повітря довше контактує з нагрівальними елементами, що забезпечує ефективніший теплообмін. Висока швидкість потоку, навпаки, скорочує час контакту і знижує кількість тепла, яке передається повітрю.

Також було визначено, що при високих швидкостях частина енергії, витраченої на нагрівання, не використовується ефективно, що призводить до збільшення втрат тепла і зменшення коефіцієнта корисної дії системи. Це підкреслює важливість оптимізації швидкості потоку для підвищення ефективності процесу теплообміну.

Методами регресійного аналізу було побудовано математичні моделі, що описують залежність температури повітря в каналі та ступеня теплоутилізації від основних параметрів, таких як подача повітря та температура внутрішнього повітря. Отримані рівняння регресії дозволяють точно прогнозувати значення цих показників, що дає можливість оптимізувати процеси теплообміну та ефективніше використовувати енергетичні ресурси.

Таким чином, проведені дослідження і побудовані математичні моделі сприяють більш глибокому розумінню теплообмінних процесів в системах перехресного ходу і можуть бути застосовані для підвищення ефективності роботи теплообмінників.

3 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ РЕКУПЕРАТОРА ТЕПЛОТИ

3.1 Мета, завдання і програма досліджень

Метою експериментальних досліджень є підтвердження теоретичних основ роботи рекуперативного теплообмінника, вивчення закономірностей теплообмінних процесів та визначення оптимальних умов його функціонування. Особливу увагу приділено аналізу впливу режимних параметрів на ефективність роботи теплообмінника, дослідженню ступеня утилізації тепла в різних умовах експлуатації, а також пошуку шляхів підвищення енергетичної ефективності пристрою.

Для досягнення цієї мети були сформульовані такі завдання:

- дослідити рівень утилізації тепла залежно від умов перебігу процесу;
- визначити найбільш ефективні режимні характеристики рекуперативного теплообмінника;
- вивчити вплив ключових режимних параметрів на теплообмінний процес для покращення ефективності роботи системи.

Відповідно до визначених завдань, загальний план досліджень охоплює такі етапи:

1. Теоретичний аналіз і моделювання процесу теплоутилізації в рекуперативному теплообміннику.

2. Розробка методичних підходів для організації лабораторних та експериментальних досліджень функціонування теплообмінника.

3. Проведення експериментальних випробувань і всебічна обробка отриманих даних.

3.2 Обладнання для експериментальних досліджень

Процес теплообміну досліджувався за допомогою спеціально спроектованої експериментальної установки, що забезпечувала високу точність вимірювань і детальний контроль параметрів. Основним елементом установки був пластинчастий теплообмінник, розташований у блоці рекуператора. Цей блок, позначений як елемент 5 на схемі (рис. 3.1), забезпечував передачу тепла між витяжним та припливним потоками повітря.

Установка складалася з двох основних каналів: витяжного (2) та припливного (3). Кожен із каналів був обладнаний вентиляторами (7 і 8), які забезпечували регульований рух повітря через систему. Для точного контролю температур у різних зонах системи використовувався високочутливий вимірювач температури (ХА), позначений на схемі як елемент 4. Температурні сенсори (термопари), розміщені в ключових точках, збирали дані про температурні показники.

Отримана інформація передавалася на аналогово-цифровий перетворювач NI-6008 (елемент 11), який забезпечував перетворення аналогових сигналів у цифровий формат для подальшого аналізу. Обробка даних виконувалася за допомогою персонального комп'ютера (ПЕОМ), позначеного на схемі як елемент 10. Використання сучасного обладнання та програмного забезпечення дозволяло з високою точністю фіксувати динаміку теплообміну, аналізувати ефективність роботи системи та забезпечувати достовірність отриманих результатів.

Завдяки такій комплексній підготовці експериментальна установка забезпечувала не лише вивчення процесів теплообміну, але й дозволяла оцінити вплив різних параметрів, таких як співвідношення потоків, температурні різниці та швидкість руху повітря. Це, у свою чергу, сприяло розробці оптимальних конструкцій теплообмінних систем для використання в реальних

умовах.

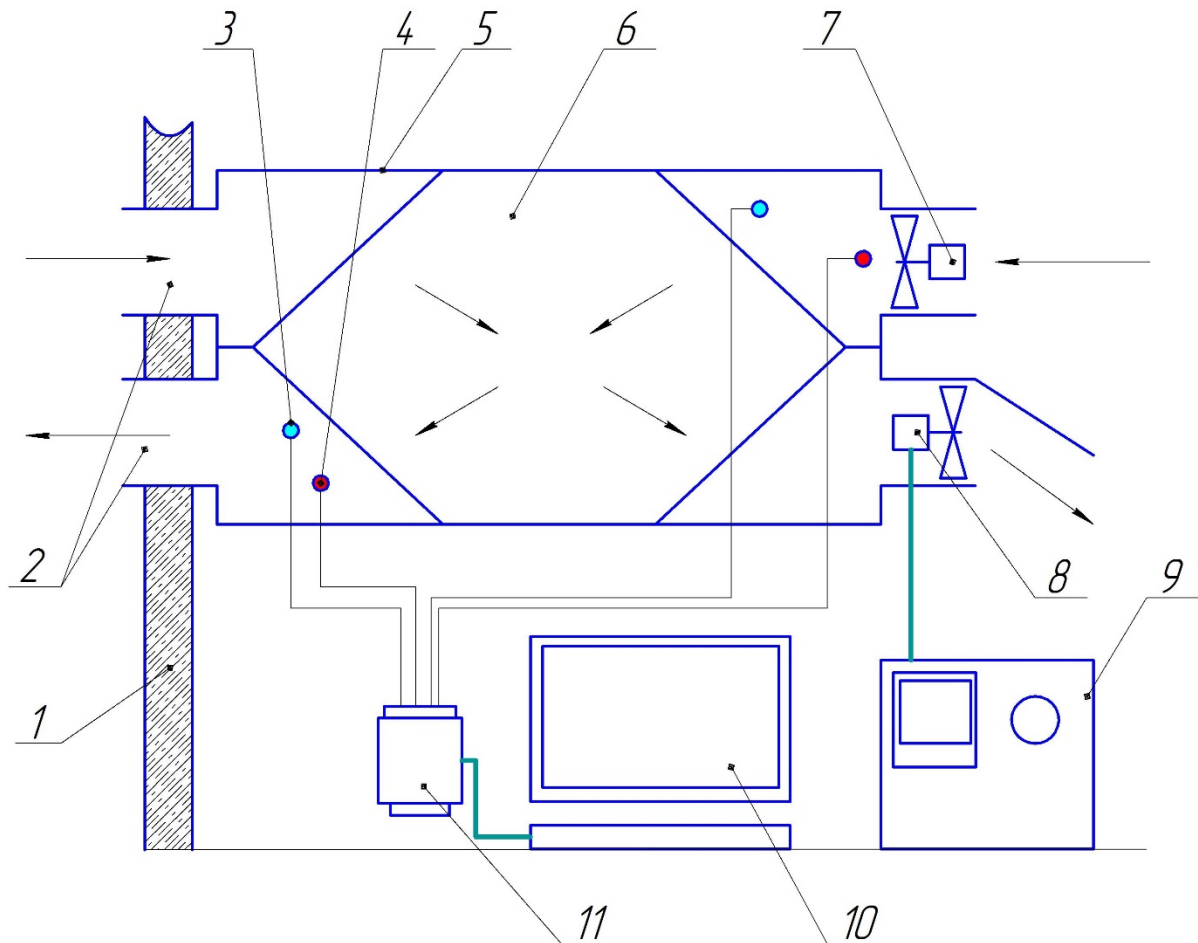


Рисунок 3.1 - Принципова схема установки для дослідження процесу теплоутилізації: 1 – стіна приміщення; 2, – притоковий та витяжний канали;

4 – вимірювач температури; 5 – блок рекуператор; 6 - теплообмінник; 7 – витяжний вентилятор; 8 – регульований притоковий вентилятор; 9 – блок керування вентилятором; 10 - ПЕОМ; 11 - аналогово-цифровий перетворювач NI-6008

Для запису сигналів використовувалося програмне забезпечення «Power Graph 3.2», яке забезпечувало точну фіксацію отриманих даних. Регулювання подачі повітря вентилятором здійснювалося за допомогою блоку керування 9, створеного на базі лабораторного автотрансформатора (ЛАТР). Цей блок дозволяв плавно змінювати швидкість обертання вентилятора, забезпечуючи

необхідні параметри роботи системи та можливість точного налаштування умов експерименту.

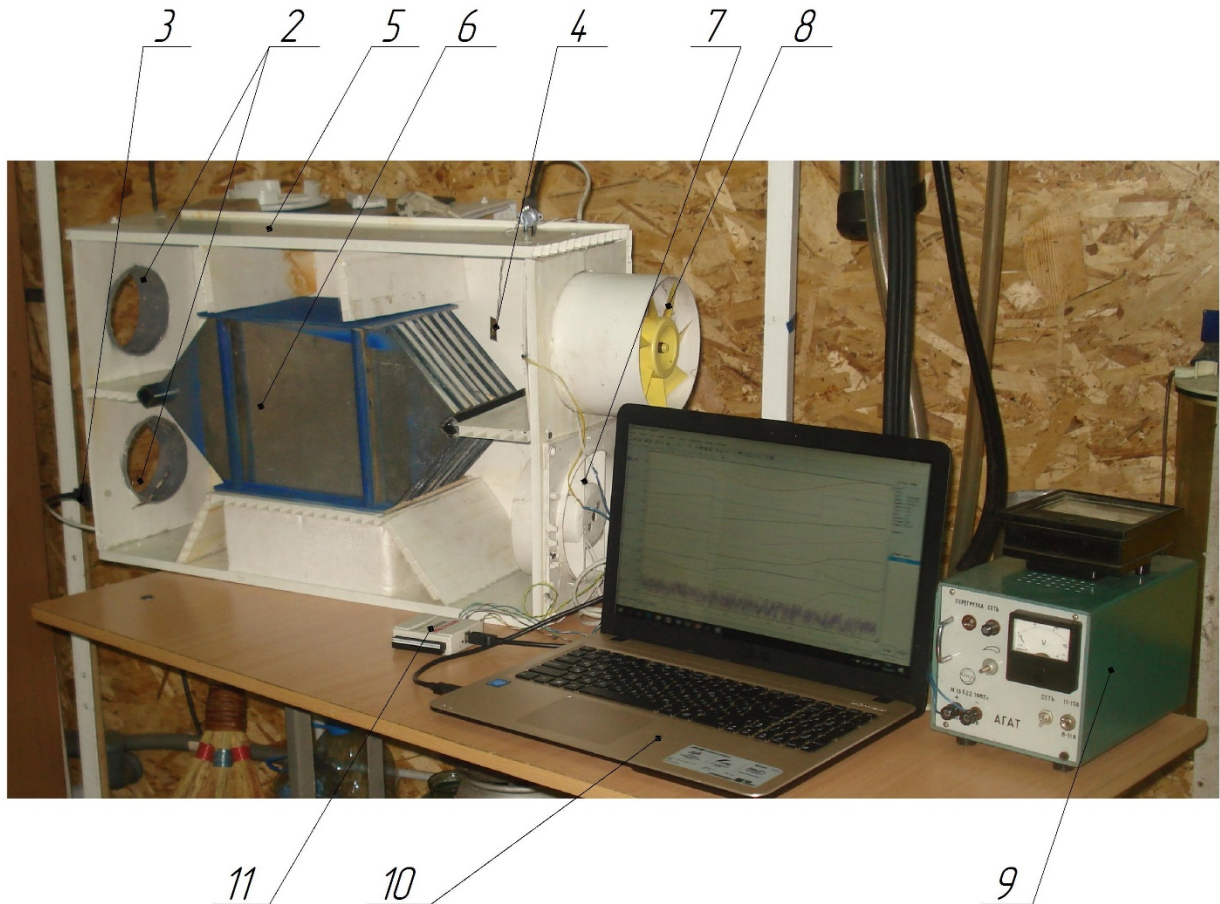


Рисунок 3.2 – Загальний вигляд установки для дослідження процесу теплоутилізації: 1 – стіна приміщення; 2 – витяжний канал та припливний канал; 3 – датчик падіння тиску; 4 - термопара; 5 – блок рекуператора; 6 - теплообмінник; 7 – витяжний вентилятор; 8 – регульований припливний вентилятор; 9 – блок керування вентилятором; 10 - ПЕОМ; 11 - аналогово-цифровий перетворювач NI-6008

Конструкцією теплообмінника передбачена можливість зміни відстані між пластинами, шляхом перестановки їх у відповідні пази тримача (рис. 3.3).

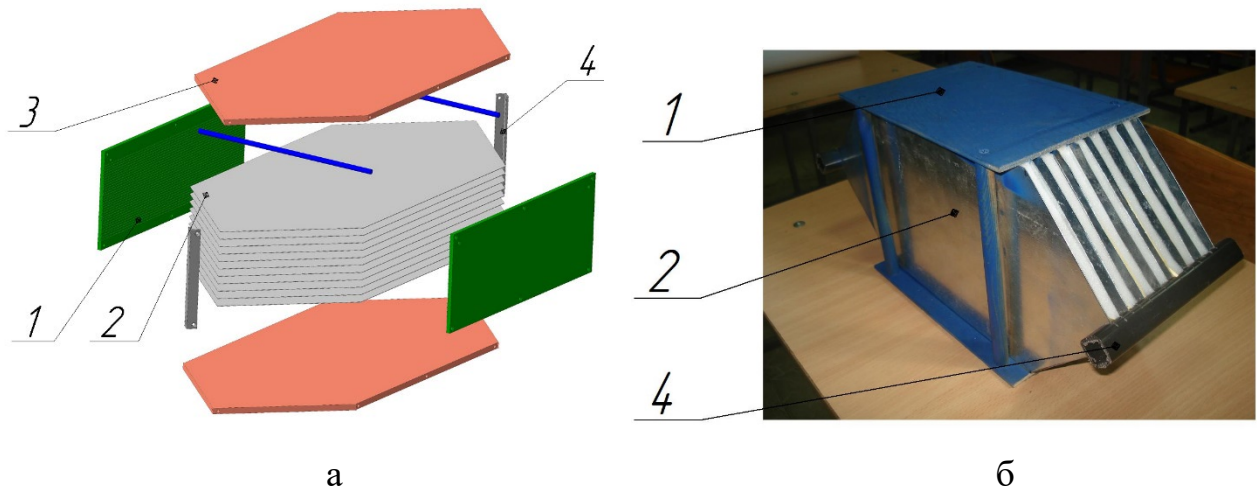


Рисунок 3.3 – Пластинчатий теплообмінник експериментальної установки: модель (а) та загальний вигляд (б)

Перед початком експериментальних досліджень було виконано ретельне калібрування термопар, яке є необхідним для забезпечення точності їхніх вимірювань і надійності отриманих результатів. Принцип дії термопар заснований на термоелектричному ефекті, що виникає при нагріванні місця з'єднання (спаю) двох провідників, виготовлених із різних металів або сплавів. При цьому між ними утворюється термоелектрорушійна сила (ТЕРС), яка є вимірюваним сигналом. Така пара провідників, поєднана в одному спаю, називається термопарою.

Калібрування термопари полягає у визначенні залежності між значеннями ТЕРС і температурою гарячого спаю за умови постійної температури холодного спаю. Ця залежність є унікальною для кожного типу термопари й дозволяє здійснювати точні температурні вимірювання. Однак у процесі експлуатації можуть виникати відхилення від стандартної залежності. Причинами таких відхилень є особливості хімічного складу матеріалів термопари, зміни в структурі спаю через термічне навантаження, а також можливе окислення або інші хімічні реакції в зоні нагріву.

Мілівольтметр, який використовується для зчитування значень ТЕРС, також потребує калібрування, оскільки його точність може знижуватися через

зношеність електричних компонентів, механічні відхилення у передачі сигналу або похибки шкали.

Процедура калібрування може виконуватися двома способами: окремо для термопари та мілівольтметра або одночасно для всієї системи. Спільне калібрування є більш точним методом, оскільки воно дозволяє врахувати сукупність усіх можливих похибок, які виникають під час взаємодії компонентів вимірювальної системи. Це забезпечує максимально точні та достовірні результати у процесі вимірювання температури.

Процес калібрування термопар виконувався в декілька етапів. Спочатку термопари разом із калібрувальним термометром занурювали в однорідне середовище, яке поступово нагрівали для досягнення необхідних температурних умов. Як середовище для калібрування використовували силіконове мастило, яке забезпечувало рівномірний розподіл тепла.

Для вимірювання термоелектрорушійної сили (ТЕРС) використовувалися аналогово-цифровий перетворювач NI-6008 і персональна електронно-обчислювальна машина (ПЕОМ). Реєстрація даних здійснювалася за допомогою спеціального програмного забезпечення «Power Graph 3.2», яке дозволяло отримувати точні значення сигналу в режимі реального часу.

Температура визначалася шляхом аналізу величини відхилення кривої сигналу на моніторі ПЕОМ від нульової позначки. Ці відхилення ретельно фіксувалися й заносилися до таблиці разом із відповідними показниками калібрувального термометра для кожної температурної точки.

Для спрощення подальших розрахунків результати калібрування були оброблені з метою отримання лінійної залежності між температурою і значеннями ТЕРС. Такий підхід дозволив значно полегшити процес обчислень і забезпечити точність вимірювань під час експлуатації термопар у робочих умовах.

$$t = aU - b, \quad (3.1)$$

де U – напруга на каналі термопари, мВ;

t – відповідна температура, °С;

a, b – коефіцієнти лінійної регресії.

3.3 Результати експериментальних досліджень

Дослідження проводились із використанням методу математичного планування багатофакторного експерименту, що дозволяє створювати математичні моделі процесів у вигляді рівнянь регресії. Для вирішення поставлених завдань був обраний D-оптимальний план Бокса-Бенкіна другого порядку для двох факторів.

Факторами експерименту були відстань між пластинами (x_1) та співвідношення подачі повітря в каналах (x_2). Ключовим критерієм, який вивчався, став ступінь теплоутилізації (y).

Згідно з методикою, описаною в розділі 2.1, було здійснено 9 замірів з трикратною повторюваністю для кожного параметра. Для контролю були виміряні температура зовнішнього повітря та температура на вході припливного каналу в приміщення. Температура всередині приміщення підтримувалась на постійному рівні, коливаючись в межах 19-20°С протягом усього періоду досліджень. Відносна вологість повітря становила 62%. Температура зовнішнього повітря змінювалась у межах від -6 до -7°С, а відносна вологість зовнішнього повітря варіювалась від 87% до 88%.

Результати вимірювань були зафіксовані у таблиці (табл. 3.1). Потім, використовуючи отримані значення температури, за допомогою формули (2.2) було визначено ступінь теплоутилізації. Зміна продуктивності регульованого вентилятора здійснювалась шляхом коригування напруги його живлення, що дозволяло варіювати подачу повітря для різних експериментальних умов.

Показники продуктивності фіксувались (табл. 3.1) для наступної обробки даних.

Таблиця 3.1 – Результати досліджень

№ досліду	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Відстань між пластинами, мм	4	4	4	8	8	8	12	12	12
Продуктивність регульованого вентилятора, м ³ /год	90	180	270	90	180	270	90	180	270
Продуктивність постійного вентилятора, м ³ /год	180	180	180	180	180	180	180	180	180
Співвідношення подачі повітря в каналах	0,5	1	1,5	0,5	1	1,5	0,5	1	1,5
Температура зовнішнього повітря $t_z, ^\circ\text{C}$ t_b	-6,5	1	1,5	0,5	1	1,5	0,5	1	1,5
Температура внутрішнього повітря $t_v, ^\circ\text{C}$	21	20	21,5	20	20	21	20	20	20
Температура повітря в припливному каналі $t_n, ^\circ\text{C}$	1,3	1,4	1,1	1,2	0,6	0,3	0,3	0	-1,5
Ступінь теплоутилізації, λ	39	38	37	38	36	35	32	30	26

За отриманими даними нами було побудовано залежності різниці температур Δt від співвідношення продуктивності вентиляторів k при різній відстані між пластинами δ , приведену на рис. 3.4. Аналіз графіка дає змогу

стверджувати, що збільшення подачі регульованого вентилятора призводить до зменшення нагріву зовнішнього повітря, особливо зі збільшенням відстані між пластинами. При мінімальній відстані та мінімальному співвідношенні продуктивності вентиляторів спостерігається максимальна теплопередача і різниця температур Δt сягає майже $8\text{ }^\circ\text{C}$. Мінімум – при максимальних значеннях згаданих показників - $\Delta t=5,2\text{ }^\circ\text{C}$. При мінімальних значеннях відстані між пластинами залежності майже лінійні, і зменшення досліджуваного показника проходить не так інтенсивно, як при зазорі 12 мм .

Після проведення експерименту було виконано розрахунок ступеня теплоутилізації (λ) та побудовано математичну модель, яка описує вплив досліджуваних факторів на цей процес.

Створена математична модель, що враховує вплив зазначених факторів на ступінь теплоутилізації, мала такий вигляд:

$$y_1 = 34,5 - 8,66x_1 + 2,71x_1^2 - 3,44x_2 + 0,17x_2^2 - 2x_1x_2 + 0,5x_1x_2^2 + 0,2x_1^2x_2 + 0,22x_1^2x_2^2. \quad (3.2)$$

Для отриманої математичної моделі ступеня теплоутилізації на рівні довірчої ймовірності 95% було підтверджено однорідність дисперсій. Це означає, що варіації між значеннями досліджуваних факторів не виходять за межі допустимих коливань. Для перевірки цієї умови використовувався критерій Кохрена, і його значення було розраховане як $G = 0,1159$, що є меншим за критичне значення $G_{0,05}(2, 26) = 0,3548$. Це вказує на те, що дисперсії є однорідними, і модель не має суттєвих статистичних порушень.

Також проводилась перевірка адекватності моделі за допомогою критерію Фішера. Розраховане значення критерію Фішера $F = 1,15$, що також менше за табличне значення $F_{0,05}(3,41) = 1,46$. Це свідчить про те, що модель є статистично значущою і відповідає вимогам експерименту. Отже, модель є адекватною для всіх рівнів довірчої ймовірності, що підтверджує її точність і здатність адекватно описувати процес теплоутилізації.

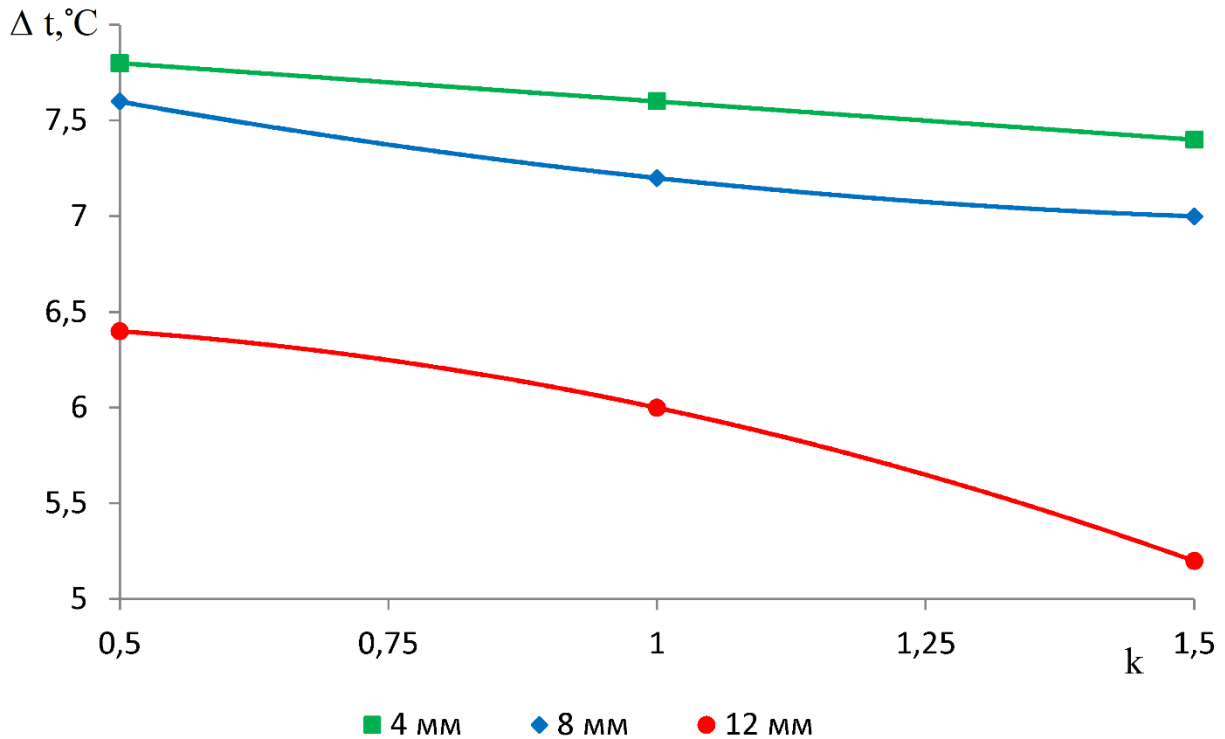


Рисунок 3.4 – Залежність різниці температур Δt від співвідношення продуктивності вентиляторів k при різній відстані між пластинами δ

Згідно з розрахованими значеннями коефіцієнтів кореляції та критерію Стюдента, значущими на рівні довірчої ймовірності понад 95% виявилися коефіцієнти, що відносяться до таких членів рівняння: x_1 , x_1^2 , x_2 , x_2^2 , x_1x_2 . Це означає, що ці фактори мають суттєвий вплив на ступінь теплоутилізації, і їх внесок в модель є статистично значущим.

Отже, на основі отриманих результатів рівняння регресії (3.2) набуває наступного вигляду:

$$y_1 = 34,5 - 8,66x_1 + 2,71x_1^2 - 3,44x_2 + 0,17x_2^2 - 2x_1x_2. \quad (3.3)$$

У розкодованому вигляді модель (3.3) має вигляд

$$\lambda = 34,5 - 8,66\delta + 2,71\delta^2 - 3,44k + 0,17k^2 - 2\delta k. \quad (3.4)$$

де λ – ступінь теплоутилізації, %;

δ - відстань між пластинами, мм;

k - співвідношення подачі повітря в каналах.

Графічну інтерпретацію отриманої моделі приведено на рис. 3.5.

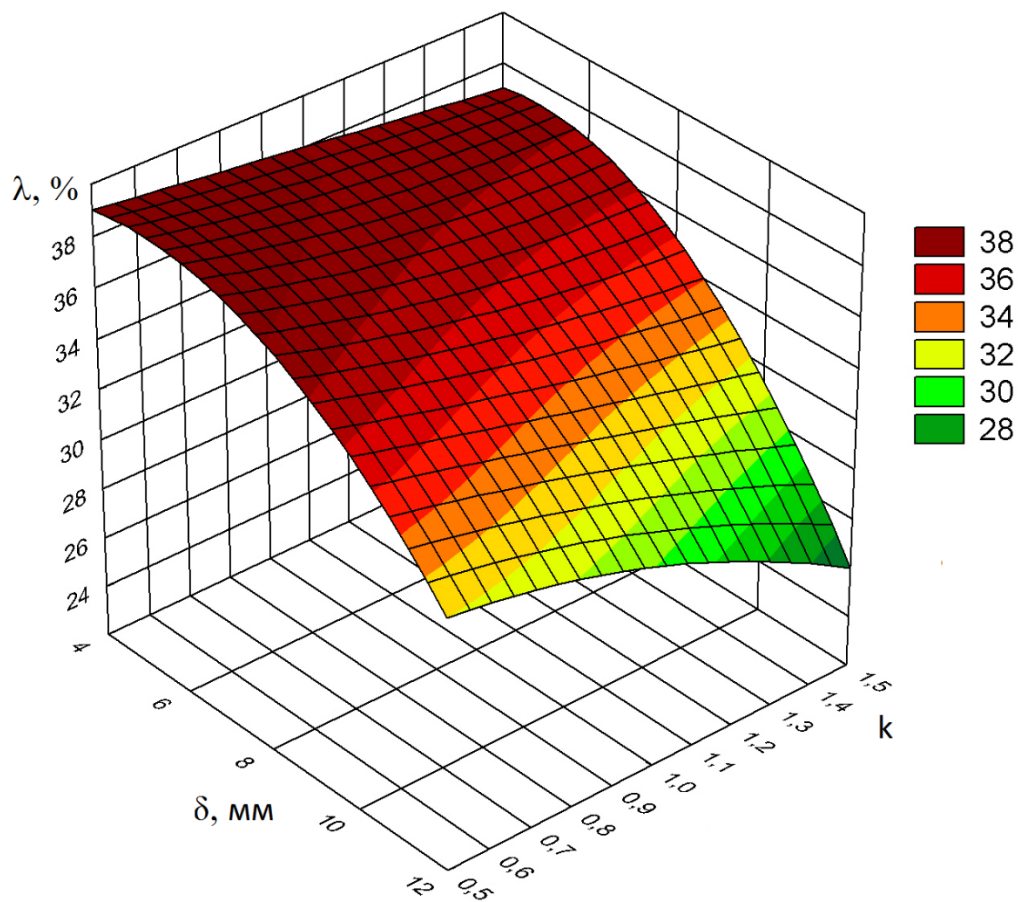


Рисунок 3.5 - Залежність ступеня теплоутилізації λ від співвідношення продуктивності вентиляторів k та відстані між пластинами δ

Аналіз отриманих експериментальних даних показує, що в досліджуваному діапазоні факторів ступінь теплоутилізації варіюється в межах від 28 % до 38 %. Одним із ключових чинників, що впливають на ефективність процесу, є відстань між пластинами теплообмінника. Спостереження показали,

що при відстані між пластинами в межах 4–6 мм ступінь теплоутилізації поступово знижується з 38 % до 36 %. Однак при подальшому збільшенні відстані спостерігається різке падіння ефективності до 28 %. Це пояснюється зменшенням щільності контактної поверхні, що знижує інтенсивність теплообміну між потоками повітря.

Іншим важливим фактором є співвідношення продуктивності припливного та витяжного вентиляторів. Вплив цього параметра виявився менш значним, проте його роль не можна ігнорувати. Зокрема, при мінімальній відстані між пластинами збільшення співвідношення продуктивності вентиляторів призводить до зниження ступеня теплоутилізації приблизно на 2,5 %, з 38 % до 35,5 %. Це пов'язано з нерівномірністю потоків, яка зменшує ефективність передачі тепла між каналами.

Загальний аналіз дозволяє зробити висновок, що оптимізація ефективності теплоутилізації можлива за рахунок зменшення відстані між пластинами та уповільнення потоку припливного вентилятора. Такий підхід забезпечує вищий ступінь утилізації тепла, що є логічним результатом, оскільки зменшення відстані між пластинами збільшує площу контакту між потоками, а уповільнення швидкості припливного потоку підвищує час взаємодії, що сприяє ефективнішому теплообміну.

Подібні результати можуть бути корисними при проектуванні рекуператорів для систем вентиляції, де необхідно забезпечити високу ефективність при мінімальних енергетичних витратах. Знання цих закономірностей дозволяє створювати більш економічні та продуктивні теплообмінники, що відповідають сучасним вимогам до енергоефективності.

Одним із ключових показників, що характеризує ефективність роботи осьового вентилятора в системах вентиляції, є величина падіння тиску в повітропроводах. Це падіння є важливим фактором, який безпосередньо впливає на енергетичні витрати системи. Згідно з існуючими нормами і досвідом, падіння тиску в припливному каналі вентиляційної системи, з точки зору економічної ефективності, не повинно перевищувати 300 Па. Підвищене

падіння тиску може призвести до зайвих енергетичних витрат і зниження загальної ефективності роботи системи.

Цей параметр залежить від кількості поданого повітря, тобто об'ємної подачі, а також від гідравлічного опору системи, що включає різні елементи, як-то фільтри, решітки, канали тощо. У ході наших досліджень ми отримали математичну модель, яка описує залежність падіння тиску в припливному каналі експериментальної установки (позначену як y_2) від двох основних факторів: подачі вентилятора (x_1) і відстані між пластинами (x_2).

Дослідження проводилися за аналогічною методикою до попередніх експериментів, що дозволило забезпечити точність та відтворюваність результатів. В процесі вимірювань ми зібрали дані, які дозволили побудувати математичну модель для визначення впливу цих факторів на падіння тиску в системі.

Отримана математична модель, яка демонструє вплив досліджуваних факторів (подача вентилятора та відстань між пластинами) на величину падіння тиску в припливному каналі, має такий вигляд:

$$y_2 = 430 - 18,75x_1 + 0,312x_1^2 - 1,72x_2 - 0,043x_2^2 + 0,382x_1x_2 - 0,0015x_1x_2^2 - 0,0226x_1^2x_2 + 0,0001x_1^2x_2^2. \quad (3.5)$$

Для отриманого рівняння на рівні довірчої ймовірності 95% було підтверджено, що дисперсії є однорідними. Це було перевірено за допомогою критерію Кохрена, де значення $G = 0,1440$ менше за критичне значення $G_{0,05}(2, 12) = 0,2387$. Крім того, за допомогою критерію Фішера було визначено, що значення $F = 1,22$ менше за критичне значення $F_{0,05}(2,87) = 1,56$. Отже, модель є адекватною на всіх рівнях довірчої ймовірності.

Згідно з розрахованими значеннями коефіцієнтів кореляції та критерію Стьюдента, на рівні довірчої ймовірності більше 95% значущими є коефіцієнти при таких членах рівняння: x_1 , x_1^2 , x_2 , x_2^2 , $x_1x_2^2$.

Таким чином, на основі отриманих результатів, рівняння регресії (3.5)

матиме наступний вигляд:

$$y_2 = 430 - 18,75x_1 + 0,312x_1^2 - 1,72x_2 - 0,043x_2^2 - 0,0015x_1x_2^2. \quad (3.6)$$

У розкодованому вигляді модель (3.6) має вигляд

$$\Delta P = 263,3 - 51,6\delta + 12,5\delta^2 - 11,67Q - 2,5Q^2 - 1,243\delta Q^2. \quad (3.7)$$

де ΔP – падіння тиску в припливному каналі, Па;

δ - відстань між пластинами, мм;

Q - продуктивність регульованого вентилятора, м³/год.

Графічну інтерпретацію отриманої моделі приведено на рис. 3.6.

Аналіз залежності, наведеної в рівнянні 3.6, дозволяє зробити висновок, що зменшення значень обох факторів, таких як відстань між пластинами та об'ємна подача повітря, спричиняє збільшення величини падіння тиску в припливному каналі. При цьому варто зазначити, що вплив цих факторів на падіння тиску виявляється неоднаковим за інтенсивністю.

Зокрема, в діапазоні значень відстані між пластинами від 4 до 8,2 мм спостерігається, що при мінімальній продуктивності (об'ємній подачі повітря) падіння тиску значно перевищує встановлений критичний рівень 300 Па. Це відхилення є значним і вимагає коригування для підтримки ефективної роботи системи. Водночас, при максимальній продуктивності, відстань між пластинами, яка становить до 6,8 мм, також призводить до зростання падіння тиску вище допустимого значення 300 Па.

Проте, якщо відстань між пластинами виходить за межі зазначеного діапазону (понад 8,2 мм або менше 4 мм), падіння тиску залишається в межах встановлених норм і не перевищує допустимих меж, що підтверджує ефективність системи в таких умовах.

Якщо порівнювати дві отриманих залежності (рис. 3.5 та 3.6), то можна стверджувати, що зменшувати відстань між пластинами нижче 6,8 мм неможливе, через критичне падіння тиску в припливному каналі, хоча з точки зору ефективності теплоутилізації, менші значення зазору між пластинами її підвищують.

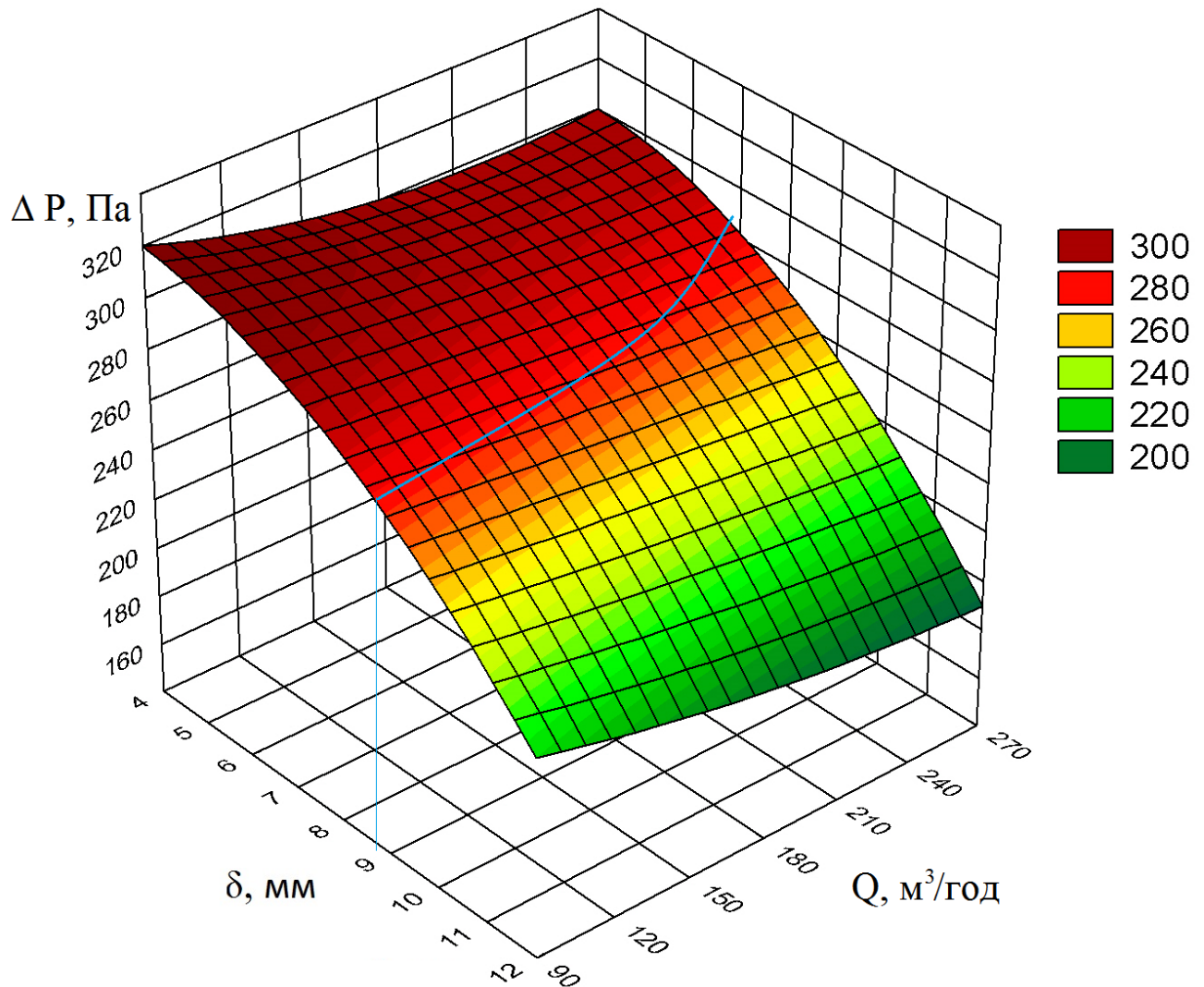


Рисунок 3.6 - Залежність падіння тиску в припливному каналі ΔP від продуктивності регульованого вентилятора Q та відстані між пластинами δ

Тому, зважаючи на забезпечення працездатності конструкції та максимальну теплоефективність оптимальним діапазоном конструкційно-технологічних параметрів досліджуваного рекуператора буде:

- відстань між пластинами – 7...8 мм;

- співвідношення продуктивності вентиляторів – 0,5...0,8.

3.4 Висновки

За результатами експериментальних досліджень було визначено оптимальні параметри конструкції теплообмінника. Зокрема, оптимальна відстань між пластинами складає 7...8 мм. За таких умов, при продуктивності вентилятора від 90 до 170 м³/год, досягається максимальна теплоефективність, яка коливається в межах 28...32%. Ці параметри забезпечують найкраще співвідношення між ефективністю теплообміну та працездатністю системи, що дозволяє зберігати стабільну роботу теплообмінника в заданих умовах експлуатації.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ

4.1 Загальні вимоги охорони праці при роботі із системами опалення птахівничих приміщень

Робота із системами опалення вимагає не лише глибоких технічних знань, а й суворого дотримання норм охорони праці, щоб забезпечити безпечні умови для працівників і мінімізувати ризики. Перш за все, до роботи допускаються лише кваліфіковані спеціалісти, які пройшли відповідне навчання та інструктаж. Усі працівники повинні бути забезпечені засобами індивідуального захисту (ЗІЗ), включаючи спеціальні рукавички, окуляри, захисне взуття, одяг із вогнестійких матеріалів.

Робоче середовище повинно відповідати встановленим нормативам. Важливо підтримувати належний рівень освітлення, температури і вологості, а також забезпечувати постійну вентиляцію приміщень. Вентиляційна система має бути сконструйована таким чином, щоб усувати шкідливі речовини, які можуть утворюватися під час роботи опалювального обладнання, наприклад, чадний газ чи інші продукти горіння.

Для забезпечення пожежної безпеки необхідно застосовувати матеріали, стійкі до високих температур, та регулярно перевіряти стан системи. Особливу увагу слід приділяти наявності засобів пожежогасіння, таких як сертифіковані вогнегасники. Крім того, важливо розробити план евакуації на випадок надзвичайних ситуацій та ознайомити з ним усіх працівників.

4.2 Проект інструкції з охорони праці під час роботи із системою опалення

Перед початком роботи працівник зобов'язаний перевірити цілісність системи опалення, звертаючи увагу на герметичність з'єднань, стан

трубопроводів, клапанів та кранів. Слід переконатися у справності обладнання, особливо елементів управління та аварійних сигналізаторів. Для уникнення накопичення небезпечних газів необхідно активувати вентиляційну систему.

Під час роботи заборонено проводити самовільні зміни в налаштуваннях або конструкції системи опалення. Слід уникати контакту з гарячими елементами, такими як труби або нагрівальні елементи. Робоча поверхня повинна бути вільною від зайвих предметів, які можуть заважати нормальному функціонуванню системи. Якщо під час роботи з'являється запах газу або ознаки несправності (наприклад, надмірне нагрівання), слід негайно припинити роботу та повідомити про це відповідних фахівців.

Після завершення роботи необхідно вимкнути систему, перевірити, що всі крани та клапани закриті, та провести візуальний огляд обладнання. Робоче місце повинно бути очищене, а результати технічного обслуговування зафіксовані у відповідному журналі.

4.3 Аналіз потенційних небезпек та ризиків

У процесі експлуатації систем опалення існує низка потенційних небезпек, які необхідно враховувати для забезпечення безпеки персоналу. Одна з основних загроз — це механічні пошкодження, які можуть виникати через недоліки конструкції, неналежне технічне обслуговування або вплив зовнішніх факторів.

Висока температура нагрівальних елементів становить ризик отримання термічних травм, таких як опіки або теплові удари. Несправності електричних компонентів можуть призводити до ураження електрострумом, особливо якщо ізоляція кабелів пошкоджена або система не заземлена належним чином.

Пожежі є ще однією серйозною загрозою, яка може виникати через витоки газу, коротке замикання або перегрів обладнання. Особливо небезпечними є ситуації, коли система працює з горючими матеріалами. Крім того, у разі

несправності можливе виділення токсичних речовин, таких як чадний газ, що становить загрозу для здоров'я персоналу.

4.4 Порядок дій у надзвичайних ситуаціях

У разі пожежі працівник зобов'язаний негайно повідомити персонал і викликати пожежну службу. Слід задіяти первинні засоби пожежогасіння, такі як вогнегасники або пісок, і перекрити подачу палива до системи. Евакуація повинна проводитися відповідно до затвердженого плану, із забезпеченням безпеки працівників.

Якщо виявлено витік газу, необхідно негайно зупинити роботу системи, відкрити вентиляційні отвори для провітрювання приміщення та повідомити аварійні служби. Робота з відновлення функціональності системи має виконуватися виключно фахівцями.

При ураженні електрострумом необхідно відключити джерело електроживлення, надати першу допомогу постраждалому та викликати медичну службу. Важливо забезпечити контроль над ситуацією, щоб уникнути повторних травм або небезпек.

4.5 Заходи з організації безпечного робочого середовища

Безпечне робоче середовище є ключовим фактором у забезпеченні безпеки працівників. Регулярне технічне обслуговування системи включає перевірки обладнання на наявність несправностей, тестування герметичності, очищення фільтрів і нагрівальних елементів.

Для підвищення рівня знань працівників необхідно регулярно проводити інструктажі з охорони праці та навчання щодо дій у надзвичайних ситуаціях. Ознайомлення з технічною документацією та практичні тренінги допоможуть знизити ризики, пов'язані з експлуатацією систем.

Моніторинг умов праці передбачає встановлення датчиків температури, вологості та концентрації шкідливих речовин у повітрі. Сигналізатори небезпеки дозволяють швидко реагувати на можливі загрози, забезпечуючи своєчасне попередження персоналу.

4.6 Висновки

Ефективна організація охорони праці є невід'ємною частиною безпечної експлуатації систем опалення в птахівничих приміщеннях. Дотримання заходів безпеки, впровадження сучасних технологій контролю та навчання персоналу дозволяють мінімізувати ризики для здоров'я працівників і довкілля. Забезпечення належного технічного стану обладнання сприяє зниженню кількості аварійних ситуацій, підвищенню ефективності роботи та довговічності системи.

5 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНА ОЦІНКА РОЗРОБЛЕНОГО РЕКУПЕРАТОРА ТЕПЛОТИ

5.1 Вихідні дані

Порівнювати будемо дві технології: опалення пташника без утилізації тепла та з використанням розробленого рекуператора.

До базового варіанту забезпечення мікроклімату приміщення для бройлерів входить:

Таблиця 5.1 – Специфікація обладнання базового варіанту

Найменування	Потужність, кВт	Кількість обладнання
Вентилятор В-Ф-6,2	0,55	12
Повітрянагрівачі газові марки Viemmedue Phoen/N	160	2

До проектного варіанту забезпечення мікроклімату приміщення для бройлерів входить:

Таблиця 5.2 – Специфікація обладнання проектного варіанту

Найменування	Потужність, кВт	Кількість обладнання
Вентилятор В-Ф-6,2	0,62	15
Повітрянагрівачі газові марки Viemmedue Phoen/N	110	2
Вентилятор ОВР-4,0	0,18	2
Рекуператор	-	2

5.2 Оцінка економічних переваг

Для оцінки ефективності впровадження модернізованої системи опалення птахівничих приміщень виконано порівняння основних складових експлуатаційних витрат. Аналіз включає витрати на енергоресурси, оплату праці персоналу, амортизацію обладнання, а також витрати, пов'язані з ремонтом і технічним обслуговуванням.

Особливу увагу приділено аналізу змін, які дозволяють досягти зниження витрат завдяки впровадженню інноваційних технічних рішень.

Значну економію забезпечує застосування більш енергоефективних компонентів. Наприклад, вдосконалені теплообмінники зі збільшеним коефіцієнтом тепловіддачі дозволяють знизити споживання енергії, а інтегровані автоматизовані системи управління оптимізують роботу опалювального обладнання відповідно до поточних умов.

Зниження витрат на технічне обслуговування досягається за рахунок використання матеріалів із підвищеною зносостійкістю. Це дозволяє зменшити частоту планових і позапланових ремонтів, знижуючи експлуатаційні витрати та забезпечуючи стабільну роботу системи.

Додатковий економічний ефект створюється шляхом зменшення трудовитрат. Автоматизація процесів управління опаленням скорочує потребу в постійному моніторингу з боку персоналу. Дистанційне управління системою забезпечує можливість ефективного контролю без залучення великої кількості працівників.

Впровадження системи з рекуперацією тепла дозволяє повторно використовувати енергію, яка зазвичай втрачалася. Це скорочує витрати на паливні ресурси, покращуючи економічні показники господарства. Додатково, рівномірний розподіл тепла в приміщенні позитивно впливає на умови утримання птиці, знижуючи тепловтрати та енергоспоживання на 20–30%.

Покращення мікроклімату в пташниках сприяє підвищенню продуктивності господарства. Оптимальні температурні умови позитивно

впливають на здоров'я птиці, збільшуючи її продуктивність, що, у свою чергу, зменшує витрати на ветеринарні послуги та підвищує якість кінцевої продукції.

Таблиця 5.3 – Показники економічної ефективності розробки

Показники	Варіанти	
	базовий	проектний
Річний об'єм робіт, тис.гол	183	183
Обслуговуючий персонал, люд	1	1
Капітальні вкладення (вартість комплекту обладнання), грн	365060	457400
Загальні витрати електроенергії за опалювальний період, кВт·год	12328,80	6458,4
Загальні витрати газу за опалювальний період, м ³	73136,95	67813,2
Питомі експлуатаційні витрати, грн/ тис.гол	3769,3	3297,11
в.т.ч.: заробітна платня	45,31	45,31
амортизаційні відрахування	219,4	274,94
витрати на ТО та ремонт	199,4	249,9
Витрати на енергоресурси	3305,19	2726,96
Додаткові капітальні вкладення, грн.	-	92340,00
Річна економія експлуатаційних витрат, грн	-	86410,77
Термін окупності додаткових капітальних вкладень, роки	-	1,1

5.3 Висновки

Аналіз економічних показників демонструє, що використання розроблених рекуператорів на птахокомплексі забезпечує суттєве зниження експлуатаційних витрат у порівнянні з базовими технологіями та обладнанням. Згідно з розрахунками, впровадження системи окупиться за 1,1 року, при цьому річна економія витрат складе 86410,78 грн.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У дипломній роботі проведено обґрунтування ресурсозберігаючої системи опалення птахівничих приміщень, що забезпечує енергоефективність, екологічність та економічну доцільність впровадження.

Виконано аналіз сучасних систем опалення птахівничих приміщень, їх переваг і недоліків. Визначено, що найбільш перспективними є системи, які забезпечують раціональне використання теплової енергії, мінімізацію втрат та інтеграцію з альтернативними джерелами енергії.

На основі теоретичних досліджень розроблено конструкцію енергоефективної системи опалення, що відповідає вимогам сучасного птахівництва. Використання теплообмінників дозволяє оптимізувати витрати теплової енергії, знижуючи споживання паливних ресурсів.

Лабораторні дослідження макетного зразка підтвердили ефективність розробленої системи. Встановлено, що запропонована система дозволяє знизити витрати енергії на 20-30% порівняно з традиційними системами опалення.

Особливу увагу приділено питанням охорони праці під час експлуатації обладнання. Розроблено рекомендації щодо забезпечення безпеки персоналу під час роботи з елементами системи опалення.

Проведено техніко-економічну оцінку, яка показала доцільність впровадження розробки в умовах сучасних птахівничих господарств. Розрахунки засвідчили, що використання нової системи дозволяє скоротити витрати на опалення та зменшити собівартість продукції.

Результати роботи можуть бути використані для вдосконалення систем опалення в птахівничих господарствах, а також слугувати основою для подальших досліджень у галузі енергоефективності та ресурсозбереження.

БІБЛІОГРАФІЯ

1. Al Homidan, A., Robertson, J. F., & Petchey, A. M. (1997). "Effect of Temperature and Light on Broiler Chickens: Influence on Feed and Water Consumption." *World's Poultry Science Journal*, 53(3), 245-257.
2. Aviagen. (2018). *Broiler Management Handbook: Effective Ventilation and Environmental Control*. Aviagen Inc.
3. Chepete, H. J., & Xin, H. (2004). "Heat and Moisture Production of Poultry and Their Housing." *Transactions of the ASABE*, 47(3), 1005–1010.
4. Costa, A., Guarino, M., & Guarino, P. (2009). "Thermal Energy Use and Conservation in Livestock Housing: A Review." *Renewable Energy*, 33(4), 663-672.
5. Decuypere, E., & Buyse, J. (2000). "The Impact of the Microclimate on Poultry Production." *Poultry Science*, 79(8), 1039-1045.
6. El-Sabrou, K., & Aggag, S. A. (2019). "Environmental Monitoring in Poultry Production: Current Perspectives and Future Directions." *Animal Reproduction Science*, 211, 106-112.
7. Hasan, M., & Hall, R. (2011). *Energy Efficient Poultry Farming Practices: Handbook for Poultry Farmers*. National Institute of Agricultural Extension Management.
8. Liebhold, M. (2010). "Closed Drinking Systems in Poultry Production." *Journal of Applied Poultry Research*, 19(2), 187-192.
9. National Research Council. (2003). *Air Emissions from Animal Feeding Operations: Current Knowledge, Future Needs*. National Academies Press.
10. Ravindran, V., & Abdollahi, M. R. (2016). "Feed Efficiency and Resource Use in Poultry: Challenges and Opportunities." *Poultry Science Journal*, 95(5), 2400-2411.
11. Roca, M., & Frisk, B. (2019). "Impact of Insulation and Ventilation on Energy Consumption in Poultry Houses." *Renewable Energy and Sustainable Farming Journal*, 22(3), 34-42.

12. Xin, H., & Rhoads, J. L. (2008). "Water Quality and Management in Poultry Housing." *Poultry Science*, 87(4), 1168-1177.
13. Zhang, L., & Turner, D. (2016). *Environmental Monitoring and Automation in Animal Housing Systems*. Springer.
14. Smith, J., & Brown, K. *Energy Efficiency in Livestock Systems*. Cambridge: Academic Press, 2017.
15. International Energy Agency. *Renewables 2022: Global Status Report*. Paris: IEA, 2022.
16. Wilkinson, J. M. *Animal Agriculture and Energy Use: Sustainable Solutions*. Wallingford: CABI, 2015.
17. Duffie, J. A., & Beckman, W. A. *Solar Engineering of Thermal Processes*. Hoboken: Wiley, 2013.
18. FAO. *The State of Food and Agriculture: Climate Change and Agriculture*. Rome: Food and Agriculture Organization, 2021.
19. Albright, L. D. *Environment Control for Animals and Plants*. ASAE Press, 2000.
20. Chauhan, S. S., & Singh, S. P. *Innovations in Poultry Farming and Climate Resilience*. Singapore: Springer, 2019.
21. ASHRAE. *ASHRAE Handbook – Fundamentals*. Atlanta: American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers, 2021.
22. Pérez-Lombard, L., Ortiz, J., & Pout, C. A Review on Buildings Energy Consumption Information. *Energy and Buildings*, 2008, Vol. 40(3), pp. 394–398.
23. Yan, J., Ed. *Handbook of Clean Energy Systems*. Hoboken: Wiley, 2015.
24. Lott, B. D., & Simmons, J. D. *Ventilation and Heating Systems for Livestock and Poultry*. Agriculture Handbook No. 1023. USDA, 2016.
25. U.S. Department of Energy. *Energy Efficiency and Renewable Energy: Heating Systems*. Washington, D.C.: DOE, 2020.
26. Karlsson, J. F., & Moshfegh, B. Energy Simulation Models for Poultry Farm Design. *Renewable Energy Journal*, 2020, Vol. 85, pp. 567–575.

27. Van den Bossche, S., et al. Poultry Housing Systems: Energy Use and Environmental Impact. Wageningen Academic Publishers, 2018.
28. Everson, D. O., & Stark, M. Environmental Control in Poultry Production. Poultry Science Journal, 2017, Vol. 96(4), pp. 894–907.

ДОДАТКИ



ДНІПРОПЕТРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Інженерно-технологічний факультет

Кафедра інжинірингу технічних систем

Обґрунтування ресурсозберігаючої системи опалення птахівничих приміщень

Виконав: студент 2 курсу, групи МгАі-2-23

Розгон Кирило Вячеславович

Науковий керівник: к.т.н., доцент

Дудін Володимир Юрійович

Дніпро-2024



МЕТА І ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕНЬ

2

Мета дипломної роботи: наукове обґрунтування і розробка ресурсозберігаючої системи опалення птахівничих приміщень, яка забезпечить ефективне використання енергоресурсів, зменшить витрати на утримання птиці та сприятиме екологізації процесів виробництва.

1. Провести огляд існуючих рішень утилізації теплоти в системах вентиляції та обрати раціональну технологічну схему теплообмінника.
2. Теоретично обґрунтувати конструкційно-технологічні параметри обраного теплообмінника.
3. Розробити методику, скласти план та провести експериментальні дослідження розробленої конструкції.
4. Розробити заходи з охорони праці системи створення мікроклімату.
5. Провести техніко-економічну оцінку використання розробленого теплоутилізатора в системі створення мікроклімату.



АНАЛІЗ СТАНУ ПИТАННЯ ЗА ТЕМОЮ ДОСЛІДЖЕНЬ

3

Енерговитрати на реалізацію технологічних процесів у птиківництві

Процеси	Приготування кормів	Роздавання кормів	Видалення посліду	Напування	Інші	Мікроклімат	
						вентиляція	опалення
Структура, %	15,5...20	10...12	8...10	1,5...2	2...3	10...12	40...45





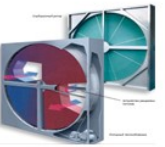
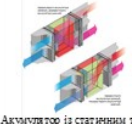
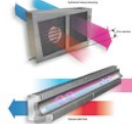
Класифікація теплоутилізаторів



АНАЛІЗ СТАНУ ПИТАННЯ ЗА ТЕМОЮ ДОСЛІДЖЕНЬ

4

Порівняльні характеристики теплоутилізаторів, які знайшли найбільше використання

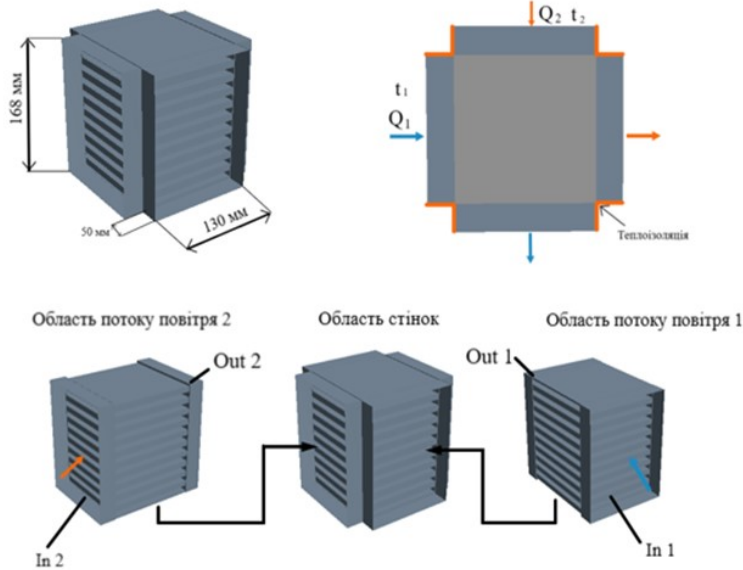
ТИП	Переваги	Недоліки	ТИП	Переваги	Недоліки
 Пластичний теплообмінник (рекуперативний)	<ul style="list-style-type: none"> - здатні забезпечувати ступінь теплоутилізації на рівні 40–92 %, що дозволяє суттєво зменшувати втрати тепла і підвищувати ефективність роботи системи. - пластинчастий теплообмінник має просту конструкцію і не має рухомих частин, що значно знижує потребу в частоту технічному обслуговуванні. - в таких теплообмінниках немає споживачів електроенергії, що дозволяє зменшити експлуатаційні витрати і зробити систему економічнішою в роботі. 	<ul style="list-style-type: none"> - Для перегину припливного та витяжного повітря потрібен також перегин повітропроводів у рекуператорі, що може бути незручним або важкодоступним у деяких системах. - у холодний період пластинчастий теплообмінник схильний до обмерзання. Щоб уникнути цього, необхідно або періодично викидати припливний вентилятор, або використовувати байпасний клапан, що ускладнює експлуатацію та обслуговування системи. 	 Система з проміжним теплоносієм (регенеративний)	<ul style="list-style-type: none"> - такі теплообмінники забезпечують ефективність теплоутилізації на рівні 50–65%, що допомагає зберегти значну частину тепла від витяжного повітря, знижуючи витрати на обігрів припливного повітря. - витяжне та припливне повітря рухаються по різних каналах без змішування, що виключає перенесення забрудненого повітря з витяжки у приплив, забезпечуючи якість повітря в приміщенні. 	<ul style="list-style-type: none"> - система потребує установки водної матриці, водного насоса та інших пристроїв для циркуляції теплоносія, що ускладнює монтаж і збільшує вартість. - для роботи водного насоса витрачається електроенергія, а вільність теплообмінника може призводити до теплового удару. Через це система може стати неадекватною, якщо припливний і витяжний теплообмінники розташовані на значній відстані один від одного.
 Роторний теплообмінник (регенеративний)	<ul style="list-style-type: none"> - Роторні теплообмінники - ступінь теплоутилізації від 60 до 85%, що дозволяє ефективно використовувати тепло, яке зазвичай втрачається. - Крім тепла, роторний теплообмінник може також переносити вологу між потоками повітря, що корисно для підтримки оптимальної вологості в приміщенні. 	<ul style="list-style-type: none"> - для забезпечення контакту між припливним і витяжним повітрям необхідно, щоб вони проходили через одну і ту саму частину рекуператора. Це може створити складнощі при плануванні системи, особливо в обмежених просторах або при специфічних вимогах до конструкції. 	 Акумулятор із статичним теплоносієм (регенеративний)	<ul style="list-style-type: none"> - ступінь теплоутилізації становить 80–90 % 	<ul style="list-style-type: none"> - присутня рухома заслінка, що може призвести до переінішування повітряних потоків.
 Трубчатий теплообмінник (рекуперативний)	<ul style="list-style-type: none"> - конструкція цього теплообмінника повністю герметична, що виключає ризик перегрівання чи змішування повітря між повітропроводами. 	<ul style="list-style-type: none"> - найвищий коефіцієнт корисної дії (ККД), який зазвичай становить близько 45–60 %, такий рівень ККД, обумовлений конструктивними особливостями та обов'язково теплоізоляцією через стінки трубок. 			

Було проведено аналіз існуючих регенеративних і рекуперативних теплоутилізаторів. Та як бачимо з порівняльних характеристик- найбільш ефективним є пластинчастий теплоутилізатор.



ЧИСЕЛЬНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ТЕПЛОБМІННИКА

5



Конструктивні параметри теплоутилізатора
птахівничих приміщень

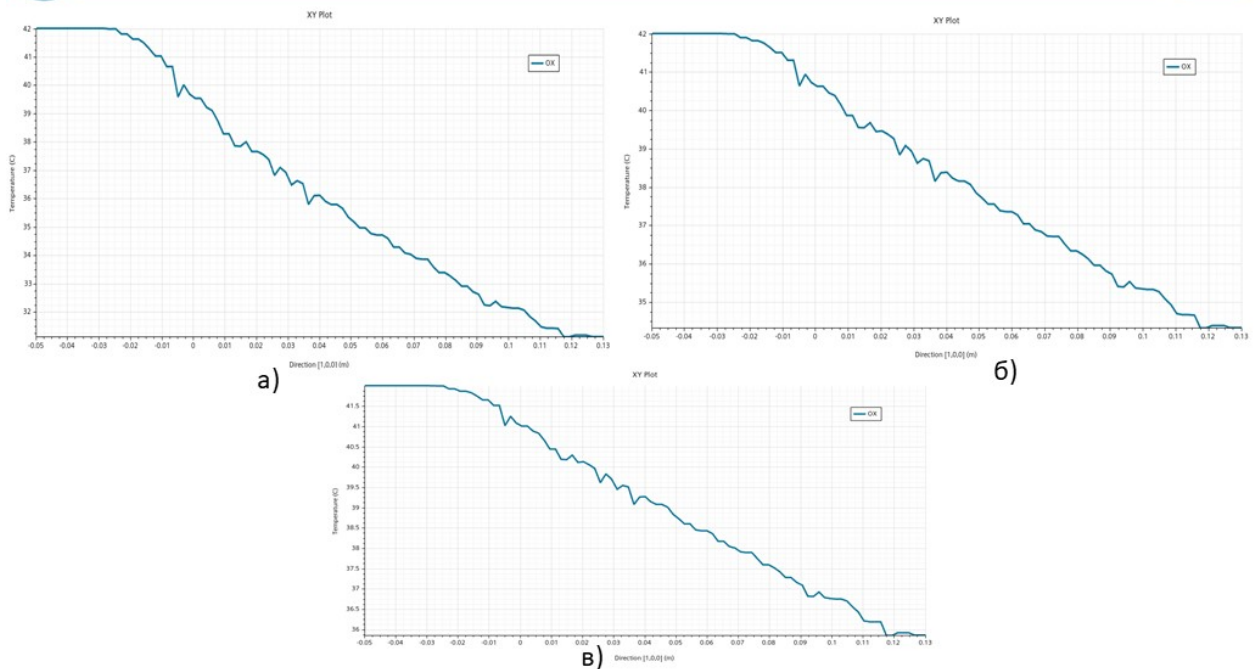
Як **фізичні моделі** обрані наступні:

- тривимірна
 - нестационарний неявний
 - багатофазна суміш
 - багатофазна взаємодія
 - об'єм рідини VOF
 - роздільна течія
 - градієнти
 - турбулентний
 - осереднення по Рейнольдсу рівняння Нав'є-Стокса
 - K-Epsilon модель турбулентності
 - допустима двошарова K-Epsilon
 - дистанція стінки
 - двошарова для будь-яких y^+
 - роздільна багатофазна температура
- Як **Ейлерова фаза** було задано повітря і волога з наступними моделями.
- Повітря: газ, ідеальний газ, турбулентна, енергія
- Волога: рідина, постійна щільність, турбулентна, енергія.

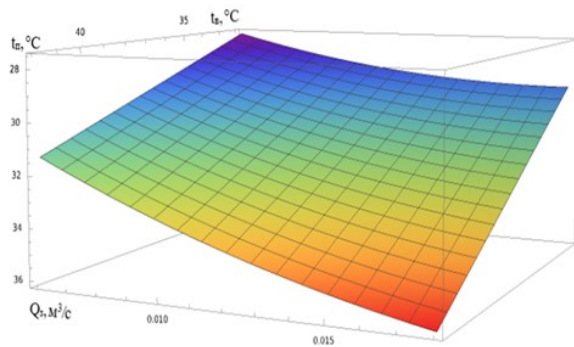


ЧИСЕЛЬНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ТЕПЛОБМІННИКА

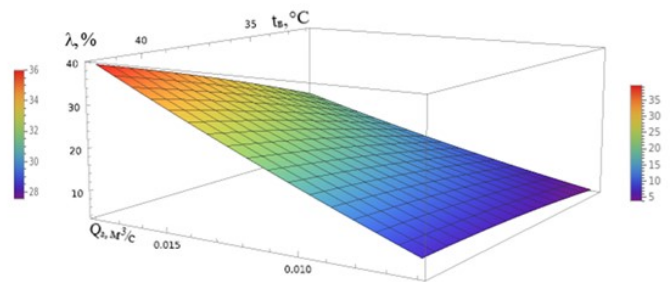
6



Графіки зміни температури при різних швидкостях: а) при швидкості 1,2 м/с, б) при швидкості 2,4 м/с, в) при швидкості 3,6 м/с.



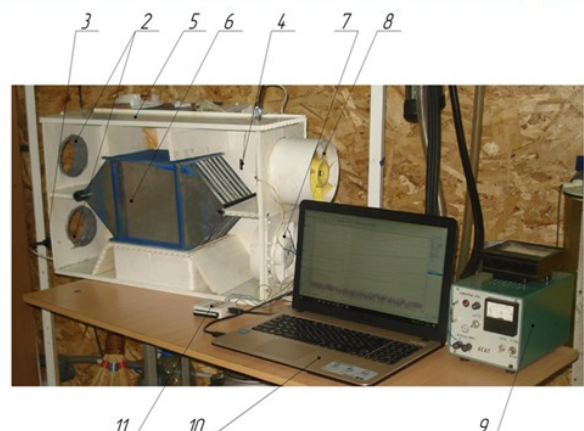
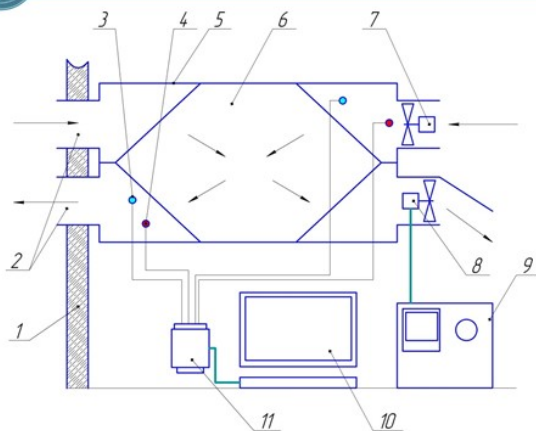
Залежність температури повітря в припливному каналі після рекуператора від подачі внутрішнього та зовнішнього повітря Q_z та температури внутрішнього повітря $t_{в}$, °C.



Залежність ступеня теплоутилізації λ від подачі внутрішнього та зовнішнього повітря Q_z та температури внутрішнього повітря $t_{в}$, °C.



ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ



Принципова схема установки для дослідження процесу теплоутилізації: 1 – стіна приміщення; 2 – витяжний канал, припливний канал; 3 – датчик падіння тиску; 4 – термопара; 5 – блок рекуператора; 6 – теплообмінник; 7 – витяжний вентилятор; 8 – регульований припливний вентилятор; 9 – блок керування вентилятором; 10 – ПЕОМ; 11 – аналогово-цифровий перетворювач NI-6008

Матриця плану експерименту та рівні варіювання факторів
(критерій оптимізації - ступінь теплоутилізації)

Рівні факторів, матриця досліджу	Фактори	
	x_1	x_2
Найменування	δ	k
Верхній рівень (+)	12	1,5
Основний рівень (0)	8	1,0
Нижній рівень (-)	4	0,5
Інтервал варіювання факторів	2	0,5

Матриця плану експерименту та рівні варіювання факторів
(критерій оптимізації - падіння тиску)

Рівні факторів, матриця досліджу	Фактори	
	x_1	x_2
Найменування	δ , мм	Q , м³/год.
Верхній рівень (+)	12	270
Основний рівень (0)	8	180
Нижній рівень (-)	4	90
Інтервал варіювання факторів	4	90

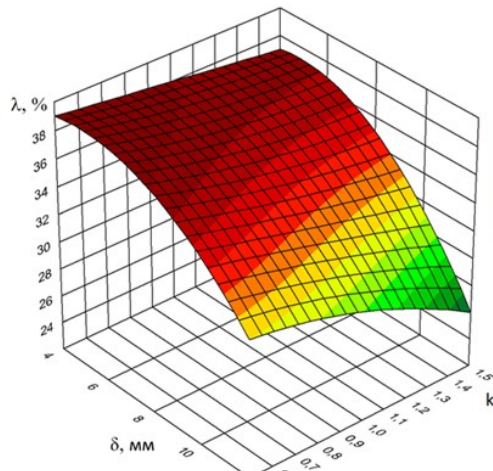


ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ

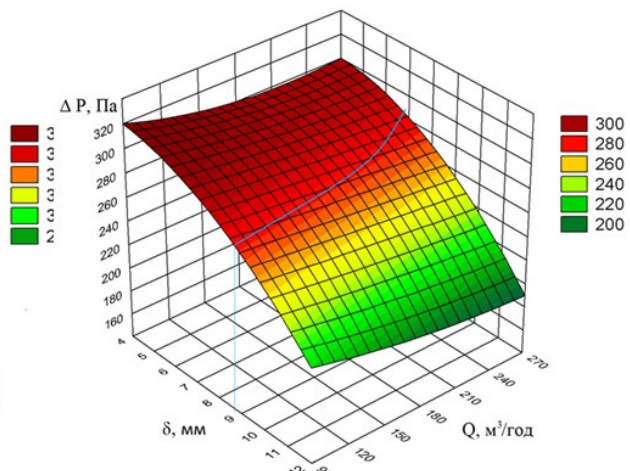
9

$$\lambda = 34,5 - 8,66\delta + 2,71\delta^2 - 3,44k + 0,17k^2 - 2\delta k.$$

$$\Delta P = 263,3 - 51,6\delta + 12,5\delta^2 - 11,67Q - 2,5Q^2 - 1,243\delta Q^2.$$



Залежність ступеня теплоутилізації λ від співвідношення продуктивності вентиляторів k та відстані між пластинами δ



Залежність падіння тиску в приливному каналі ΔP від продуктивності регульованого вентилятора Q та відстані між пластинами δ

За результатами експериментальних досліджень встановлено раціональні параметри конструкції теплообмінника, а саме відстань між пластинами 7...8 мм, при яких за продуктивності вентилятора 90...170 м³/год. буде спостерігатися максимальна теплоефективність – 28...32 %, при збереженні працездатності системи.



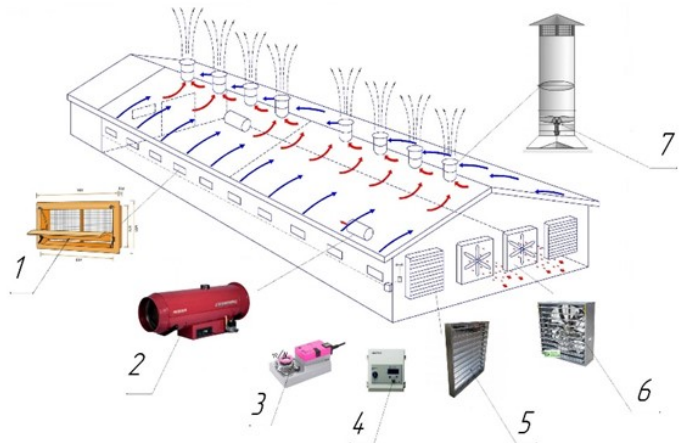
ОХОРОНА ПРАЦІ

10

Нормативні параметри мікроклімату

Показник	Старт	Ріст	Фініш
Вік, днів	0-14	15-28	29-40
Температура повітря, °C	33-35	30-20	20
Температура підстилки, °C	26-30	25-30	25-30
Відносна вологість, %	55-75	50-65	50-65
CO ₂ , л/м ³ %	2,5(0,3)		
NH ₃ , мг/л (%)	< 20 (0,002)		
Запиленість, мг/м	< 3,4		

Поз.	Найменування	Кі-сть, шт.
1	Переферійний клапан приливний регульованого типу 400213g	15
2	Газовий генератор непрямого нагріву rhoen/n	2
3	Сервомотор приводу приточних клапанів керується приладом управління мікрокліматом	1
4	Прилад управління мікрокліматом з датчиком температури ziehl-abegg	1
5	Приливний клапан 1380*1380	2
6	Вентилятор djf-1380	2
7	Витяжна вентиляційна шахта	15



В результаті проведеного в розділі проектування визначено, що для забезпечення оптимальних параметрів мікроклімату в пташнику буде застосовано змішану систему вентиляції, до складу якої входять 15 вентиляторів В-Ф-6,2, DJF-1380 та марки приливні клапани: 2 шт. 1380×1380, 38 - В-Ф-12,0. Для обігріву приміщення використаємо 2 повітрянагрівачі газові Viemmedue Rhoen/N, максимальною теплопродуктивністю 110 кВт та 2 розгінні вентилятори ОВР-4,0.



ЕКОНОМІЧНІ ПОКАЗНИКИ

11

Показники	Варіанти	
	базовий	проектний
Річний об'єм робіт, тис.гол	183	183
Обслуговуючий персонал, люд	1	1
Капітальні вкладення (вартість комплексу обладнання), грн	365060	457400
Загальні витрати електроенергії за опалювальний період, кВт·год	12328,80	6458,4
Загальні витрати газу за опалювальний період, м ³	73136,95	67813,2
Питомі експлуатаційні витрати, грн/ тис.гол	3769,3	3297,11
в.т.ч.: заробітна платня	45,31	45,31
амортизаційні відрахування	219,4	274,94
витрати на ТО та ремонт	199,4	249,9
Витрати на енергоресурси, грн/тис.гол	3305,19	2726,96
Додаткові капітальні вкладення, грн.	-	92340,00
Річна економія експлуатаційних витрат, грн	-	86410,77
Термін окупності додаткових капітальних вкладень, роки	-	1,1

Завдяки застосуванню розробленої системи утилізації теплоти відпрацьованого повітря на прикладі пташника, місткістю 28000 курчат бройлерів, було досягнуто зменшення витрат газу на 60550 м³. Це дало змогу зменшити витрати на енергоресурси з 3305 до 2726 грн/тис.гол. Строк окупності при впровадженні складе 1,1 роки, а річна економія експлуатаційних витрат за нашими розрахунками становить 86410,78 грн.

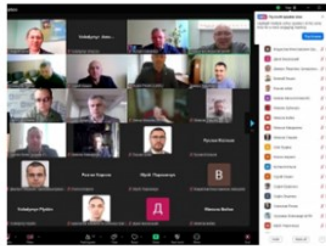


ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

12

1. Аналіз структури енерговитрат в птахівництві показує, що найбільші витрати на процес опалення 40...45%, зменшення цих витрат можна досягти застосуванням утилізації теплоти відпрацьованого повітря в системі вентиляції пташника.
2. Встановлено, що оптимальним конструктивним рішенням для наших умов є теплоутилізатори на базі пластинчастих теплообмінників. При цьому найбільш ефективний напрямок руху – протиточний (за рахунок постійно-високої різниці температур).
3. Існуючі пластинчасті теплообмінники - перехресного руху, що ближче до прямооточного, особливо з боку припливу, тому нами пропонується зміна форми теплообмінної поверхні, яка забезпечила протиточковий рух середовищ. При цьому загальна площа теплообміну - біля 1 м², відстань між пластинами в діапазоні 4...12 мм.
4. За результатами експериментальних досліджень встановлено раціональні параметри конструкції теплообмінника, а саме відстань між пластинами 7...8 мм, при яких за продуктивності вентилятора 90...170 м³/год. буде спостерігатися максимальний ступінь теплоутилізації – 28...32 %, при збереженні працездатності системи (незначне падіння тиску).
5. Для забезпечення належних умов охорони праці, на основі існуючих вимог, нами вибрано тип та розраховано кількість обладнання для забезпечення мікроклімату в пташнику.
6. Завдяки застосуванню розробленої системи утилізації теплоти відпрацьованого повітря на прикладі пташника, місткістю 28000 курчат бройлерів, було досягнуто зменшення витрат газу на 60550 м³. Це дало змогу зменшити витрати на енергоресурси з 3305 до 2726 грн/тис.гол. Строк окупності при впровадженні складе 1,1 роки, а річна економія експлуатаційних витрат за нашими розрахунками становить 86410,78 грн.

Відбувся II етап Всеукраїнського творчого конкурсу наукових робіт «Галузеве машинобудування»



17 жовтня 2024

Відповідно до Положення про Всеукраїнський конкурс студентських наукових робіт зі спеціальності «ГАЛУЗЕВЕ МАШИНОБУДУВАННЯ» 17 жовтня 2024 р. відбувся II етап Всеукраїнського творчого конкурсу наукових робіт «Галузеве машинобудування».

II місце

Микола БОЙКО, Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя. Тема конкурсної роботи: «Дослідження взаємодії робочих органів однорядкового картоплезбирального комбайна з ґрунтом» (науковий керівник – доцент Микола СТАШКІВ).

Валентин ПИРІЖОК і Софія КРИВОНІС, Державний біотехнологічний університет, м. Харків. Тема конкурсної роботи: «Впровадження мехатронних технологій для оптимізації руху трактора ХТЗ-160 по заданій траєкторії та підвищення його експлуатаційних показників» (науковий керівник – доцент Микола МАКАРЕНКО).

Кирило РОЗГОН, Дніпровський державний аграрно-економічний університет. Тема конкурсної роботи: «Обґрунтування параметрів рекуператора теплоти систем створення мікроклімату птахівничих приміщень» (Наукові керівники – професор Ельчин АЛІЄВ і доцент Володимир ДУДІН).



СЕРТИФІКАТ

ЗАСВІДЧУЄ, ЩО

КИРИЛО РОЗГОН

взяв участь у роботі
III Всеукраїнської науково-практичної конференції
МОЛОДИХ ВЧЕНИХ
«Інжиніринг технологій і технічних систем
агропромислового комплексу»
у якості спікера
15 листопада 2024 р.
м. Дніпро

Голова оргкомітету

Ельчин АЛІЄВ