



Всеукраїнський науково-технічний журнал

All-Ukrainian Scientific & Technical Journal

ISSN 2520-6168 (Print)

DOI:10.37128/2520-6168-2022-1

**Machinery
Energetics
Transport
of Agribusiness**



**ТЕХНІКА
ЕНЕРГЕТИКА
ТРАНСПОРТ АПК**



Всеукраїнський науково-технічний журнал

**ТЕХНІКА,
ЕНЕРГЕТИКА,
ТРАНСПОРТ АПК**

№ 1 (116) / 2022

м. Вінниця - 2022

**ТЕХНІКА,
ЕНЕРГЕТИКА,
ТРАНСПОРТ АПК**

Журнал науково-виробничого та навчального спрямування
Видавець: Вінницький національний аграрний університет

Заснований у 1997 році під назвою «Вісник Вінницького державного сільськогосподарського інституту».
Правонаступник видання: Збірник наукових праць Вінницького національного аграрного університету. Серія: Технічні науки.
Свідоцтво про державну реєстрацію засобів масової інформації
КВ № 16644–5116 ПР від 30.04.2010 р.

Всеукраїнський науково – технічний журнал «Техніка, енергетика, транспорт АПК» / Редколегія: Токарчук О.А. (головний редактор) та інші. Вінниця, 2022. 1(116). С. 169.

Друкується за рішенням Вченої ради Вінницького національного аграрного університету (протокол № 10 від 29.04.2022 р.)

Свідоцтво про державну реєстрацію засобів масової інформації №21906-11806 Р від 12.03.2016р.

Журнал «Техніка, енергетика, транспорт АПК» включено до переліку наукових фахових видань України з технічних наук (Категорія «Б», Наказ Міністерства освіти і науки України від 02.07.2020 року №886);

- присвоєно ідентифікатор цифрового об'єкта (Digital Object Identifier – DOI);

- індексується в CrossRef, Google Scholar;

- індексується в міжнародній наукометричній базі [Index Copernicus Value](#) з 2018 року.

Головний редактор

Токарчук О.А. – к.т.н., доцент, Вінницький національний аграрний університет

Заступник головного редактора

Веселовська Н.Р. – д.т.н., професор, Вінницький національний аграрний університет

Відповідальний секретар

Полєвода Ю.А. – к.т.н., доцент, Вінницький національний аграрний університет

Члени редакційної колегії

Булгаков В.М. – д.т.н., професор, академік НААН України, Національний університет біоресурсів і природокористування України

Севостьянов І.В. – д.т.н., професор, Вінницький національний аграрний університет

Граняк В.Ф. – к.т.н., доцент, Вінницький національний технічний університет

Спірін А.В. – к.т.н., доцент, Вінницький національний аграрний університет

Іванчук Я.В. – к.т.н., доцент, Вінницький національний технічний університет

Твердохліб І.В. – д.т.н., доцент, Вінницький національний аграрний університет

Іскович – Лотоцький Р.Д. – д.т.н., професор, Вінницький національний технічний університет

Цуркан О.В. – д.т.н., доцент, Вінницький національний аграрний університет

Купчук І.М. – к.т.н., доцент, Вінницький національний аграрний університет

Яронуд В.М. – к.т.н., доцент, Вінницький національний аграрний університет

Зарубіжні члени редакційної колегії

Йордан Максимов – д.т.н., професор Технічного університету Габрово (Болгарія)

Відповідальний секретар редакції **Полєвода Ю.А.** – к.т.н., доцент, Вінницький національний аграрний університет
Адреса редакції: 21008, Вінниця, вул. Сонячна 3, Вінницький національний аграрний університет, тел. (0432) 46–00–03

Сайт журналу: <http://tetapk.vsau.org/>

Електронна адреса: pophv@ukr.net



ЗМІСТ

I. АГРОІНЖЕНЕРІЯ

*Калетнік Г.М., Яропуд В.М.***СИМУЛЯЦІЯ ПРОЦЕСУ ТЕПЛОМАСООБМІНУ ТЕПЛООБМІННИКА ПОБІЧНО-ВИПАРНОГО ТИПУ..... 4***Грушецький С.М., Омелянов О.М.***ОБҐРУНТУВАННЯ ОСНОВНИХ КОНСТРУКТИВНИХ ПАРАМЕТРІВ РОТАЦІЙНОГО РОБОЧОГО ОРГАНУ КОРЕНЕБУЛЬБОЗБИРАЛЬНОЇ МАШИНИ..... 16***Ковальчук Ю.О., Пушка О.С., Войтік А.В., Ковальчук А.О.***ПІДВИЩЕННЯ ЗНОСОСТІЙКОСТІ ДЕТАЛЕЙ АВТОМОБІЛЬНОГО ТРАНСПОРТУ В АПК ШЛЯХОМ ЗАСТОСУВАННЯ ЛАЗЕРНОГО НАПЛАВЛЕННЯ 25***Oleksandr Kholodiuk, Volodymyr Kuzmenko, Zhukov Volodymyr***PREPARATION FEATURES OF TECHNICAL MEANS FOR HAUMAKING..... 32***Спірін А.В., Цуркан О.В. Твердохліб І.В., Борисюк Д.В.***ЕРГОНОМІЧНІ АСПЕКТИ ОХОРОНИ ПРАЦІ В СІЛЬСЬКОМУ ГОСПОДАРСТВІ..... 41**

II. ПРИКЛАДНА МЕХАНІКА. МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО. ГАЛУЗЕВЕ МАШИНОБУДУВАННЯ

*Алієв Е.Б., Лінко М.О.***АНАЛІЗ ТЕХНІКО-ТЕХНОЛОГІЧНОГО ОСНАЩЕННЯ ПРОЦЕСІВ ЕКСПАНДОВАНОГО ПРИГОТУВАННЯ КОРМІВ..... 51***Веселовська Н.Р., Шаргородський С.А., Яцук Є.В., Гречко Р.О.***ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОТИ ГІДРОСТАТИЧНОЇ ТРАНСМІСІЇ ТИПУ ГСТ-90... 58***Возняк О.М., Бабин І.А***АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА СУШКИ ЖОМУ ЦУКРОВОГО ВИРОБНИЦТВА..... 65***Ivan Sevostianov, Yaroslav Ivanchuk***MODELLING OF WORKING PROCESS OF EQUIPMENT WITH HYDRAULIC DRIVE FOR SEPARATION OF DAMP DISPERSIVE MATERIALS..... 77***Матвійчук В.А., Гайдамак О.Л., Карпійчук М.Ф.***ПЕРСПЕКТИВИ СТВОРЕННЯ ПОВЕРХНЕВИХ ШАРІВ ДЕТАЛЕЙ З ПІДВИЩЕНИМИ ТРИБОЛОГІЧНИМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ ГАЗОДИНАМІЧНОГО НАПИЛЕННЯ 83***Пазюк В.М., Токарчук О.А.***ОСНОВНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ОСАДІВ СТІЧНИХ ВОД 96***Полевода Ю.А., Соломон А.М., Бондар М.М.***ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ НИЗЬКОТЕМПЕРАТУРНОГО КОНЦЕНТРУВАННЯ ХАРЧОВОЇ СИРОВИНИ ДЛЯ ВИРОБНИЦТВА ЗЕФІРУ..... 105***Присяжнюк Д.В.***ДОСЛІДЖЕННЯ ЕНЕРГОФІЗИЧНИХ ТА ТЕРМОДИНАМІЧНИХ ПРОЦЕСІВ В ЕЛЕКТРОННОМУ ПРИСТРОЇ ДЛЯ СИНТЕЗУ ОЗОНУ..... 114***Svitlana Kravets***PERFECTION OF FUNDAMENTALS OF MATHEMATICAL METHOD OF DESIGN OF HYDROSYSTEMS OF DRIVE OF TECHNICAL MACHINES..... 121***Сивак Р.І., Островський А.Й., Богатюк М.О.***ДОСЛІДЖЕННЯ КОМПОНОВКИ УНІВЕРСАЛЬНО-СКЛАДАЛЬНОГО ПРИСТРОЮ ІЗ ЗМІНОЮ КОНСТРУКТИВНИХ ПАРАМЕТРІВ ЕЛЕМЕНТІВ ВТУЛКИ РОЗРІЗНОЇ..... 128***Цуркан О.В.***ПЕРЕДУМОВИ ДЛЯ ПОБУДОВИ МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ПРОЦЕСУ ФІЛЬТРАЦІЙНОГО СУШНІННЯ НАСІННЯ ГАРБУЗА..... 136***Яропуд В.М., Купчук І.М., Бурлака С.А.***ОБҐРУНТУВАННЯ КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ АДАПТИВНОГО ТРИТРУБНОГО ТЕПЛОУТИЛИЗАТОРА ТВАРИННИЦЬКИХ ПРИМІЩЕНЬ..... 142**

III. ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИКА, ЕЛЕКТРОТЕХНІКА ТА ЕЛЕКТРОМЕХАНІКА

*Возняк О.М., Штуць А.А., Тихонов В.К.***ДОСЛІДЖЕННЯ МОДЕЛІ ГАЛУЗІ ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИКИ ТА МЕТОДИКИ ВИКОНАННЯ ВИМІРЮВАНЬ ЯКОСТІ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ..... 150***Граняк В.Ф., Кожушко О.В.***ОЦІНЮВАННЯ СИСТЕМАТИЧНИХ ПОХИБОК СМУГОВОГО НЕСИМЕТРИЧНОГО СЕНСОРА ВОЛОГОСТІ..... 164**



УДК 36.4:636.083.3

DOI: 10.37128/2520-6168-2022-1-17

ОБҐРУНТУВАННЯ КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ АДАПТИВНОГО ТРИТРУБНОГО ТЕПЛОУТИЛІЗАТОРА ТВАРИННИЦЬКИХ ПРИМІЩЕНЬ

Яропуд Віталій Миколайович, к.т.н., доцент
Купчук Ігор Миколайович, к.т.н., доцент
Бурлака Сергій Андрійович, Ph.D., старший викладач
Вінницький національний аграрний університет

Ihor Kupchuk, Ph.D., Associate Professor
Vitalii Yaropud, Ph.D., Associate Professor
Serhiy Burlaka, Ph.D., Senior Lecturer
Vinnytsia National Agrarian University

В результаті досліджень розроблено адаптивний тритрубний теплоутилізатор, який містить коаксіально встановлені труби, трубку для відведення конденсату, витяжну шахту, що проходить крізь зовнішню трубу, припливний вентилятор, витяжний вентилятор, розподільні отвори, повітряний фільтр, каналний електричний нагрівач. Адаптивний тритрубний теплоутилізатор додатково обладнаний сервоприводами із заслінками, датчиками температури, датчиками швидкості повітря, які встановлені на всіх розподільних отворах, датчиком якості повітря, який розміщено у приміщенні, блоком керування, який по засобах сигнальних проводів приєднано до припливного вентилятора, витяжного вентилятора, каналного електричного нагрівача, сервоприводів, датчиків температури, датчиків швидкості повітря і датчика якості повітря. В результаті теоретичних досліджень, які підтверджені експериментально (коефіцієнт кореляції $R = 0,98$), розроблено методіку і реалізовано на основі неї алгоритм визначення площі отворів у повітропроводі адаптивного тритрубного теплоутилізатора для тваринницьких приміщень. Встановлено, що відстань між отворами поступово зменшується до певного значення в напрямку протилежному руху повітряного потоку. Однак в кінці повітропроводу теплоутилізатора спостерігається незначне зменшення відстані, що спричинено зворотнім потоком повітря, яке зіштовхується із заглушеним кінцем.

Ключові слова: мікроклімат, тваринницьке приміщення, вентиляція, теплоутилізатор, автоматизація, параметри, дослідження, залежності.

Ф. 11. Рис. 5. Літ. 20.

1. Постановка проблеми

Продуктивність сільськогосподарських тварин і птиці на 20 % залежить від породних якостей, до 50 % – від якості кормів і до 25 % – від умов утримання, в тому числі і від мікроклімату [1]. Забезпечення ж необхідного мікроклімату в сучасних тваринницьких комплексах і фермах пов'язано зі значними енергетичними затратами, їх питома вага в собівартості, наприклад, однієї тонни свинини, досягає 25 % [2]. На молочних комплексах і фермах на підігрів припливного повітря у зимовий період, витрачається до 48 % теплової енергії, яка споживається за рік, а на привід вентиляторів – до 50 % річної спожитої електроенергії [3]. Усі відхилення від нормативних умов повітряного середовища негативно впливають на їх розвиток та продуктивність. Тому питання вдосконалення систем забезпечення мікроклімату в тваринницьких приміщеннях завжди є актуальними і потребують наукового обґрунтування.

Розвиток ефективного тваринництва можливий за умови створення і підтримання нормативного мікроклімату в тваринницьких приміщеннях. Мікроклімат приміщення – клімат обмеженого простору, що включає сукупність таких факторів середовища: температури, вологості, руху (швидкість руху) і охолоджуючої здатності повітря, освітленості, рівня шуму, кількості зважених у повітрі частинок пилу і мікроорганізмів, газового складу повітря [4].

Для отримання максимальної продуктивності при мінімальних трудових і матеріальних витратах із урахуванням екологічних норм, що склалися, можна сформулювати загальні вимоги до системи створення мікроклімату в тваринницьких приміщеннях: забезпечити якість повітряного середовища, що дозволяє більш повно реалізувати генетичний потенціал тварин по продуктивності і резистентності; оптимально використовувати теплову і електричну енергію; захистити довкілля від забруднень відходами тваринництва [5, 6].

Одним із напрямів вирішення проблеми ефективного енергозбереження тваринницьких приміщень є використання теплоти вентиляційних викидів.

2. Аналіз останніх досліджень і публікацій

Враховуючи технологічні умови повітря в тваринницьких приміщеннях (значна запиленість – до 6 мг/м^3 , висока вологість – до 80 %, наявність високої концентрації агресивних компонентів – аміаку до 20 мг/м^3 , сірководню – до 10 мг/м^3 , вуглекислого газу – до 0,28 % [7]) і результати аналізу конструкцій теплоутилізаторів було виявлено, що за санітарно-гігієнічними та експлуатаційними показниками, високою енергетичною ефективністю і низькою вартістю конструкції найбільш придатними для системи вентиляції є кожухотрубні теплоутилізатори.

Відома автоматична вентиляційна система забору забрудненого повітря розміщена в середині тваринницького приміщення під стелею і складається з центрального повітропроводу для забору повітря, до якого приєднанні патрубки для забору повітря. Патрубки для забору повітря розміщені посередині над кожним станком, де утримуються тварини. На вході патрубків для забору повітря встановлені забірні заслінки із сервоприводами і датчики температури, вологості та якості повітря. Вихід центрального повітропроводу для забору повітря приєднано витяжного вентилятора. Забірні заслінки із сервоприводами і датчики температури, вологості та якості повітря по засобах електричних проводів б приєднані до блока керування [7, 8].

Відомий трубчастий рекуператор тепла вентиляційного повітря на зустрічних потоках [9], що містить корпус з двох пустотілих пластикових циліндрів більшого і меншого діаметру, між корпусними циліндрами поздовжньо розміщено пакет теплообмінників. Кожен теплообмінник виконано з двох співвісних металевих трубок більшого і меншого діаметру. До недоліків такого обладнання можна віднести недостатній рівень автоматизації, відсутність контролю за параметрами мікроклімату приміщень.

Трубчастий рекуператор теплоти вентиляційного повітря на зустрічних потоках [10-17], що містить три коаксіально встановлені труби (внутрішню, середню і зовнішню), каналний електричний нагрівач, трубку для відведення конденсату, яка проходить крізь зовнішню трубу і розташовується в нижній частині середньої труби, витяжну шахту, що проходить крізь зовнішню трубу, припливний та викидний вентилятори, встановлюється у внутрішню трубу повітряний фільтр. Недоліком означеного обладнання є недосконалість конструкції по рівномірному розподілу потоків повітря із вихідних отворів. Окрім цього відсутність контролю за швидкістю повітря може призвести до відхилення від нормованих значень параметрів мікроклімату.

Відомий пристрій утилізації тепла витяжного повітря [18], що містить теплообмінники, розміщені в корпусі, і вентилятори. Пристрій оснащений патрубком входу припливного повітря і патрубком виходу охолодженого повітря, причому обидва патрубки встановлюються у стіні приміщення, чим викликається необхідність робити у ній два отвори. Недоліком відомого пристрою є невисока ефективність утилізації теплоти повітря, що видаляється, значна вага і габаритний розмір, а також потрібно створювати додаткові умови для порушення цілісності стін будівель.

Враховуючи проведений аналіз в основу розробки поставлена задача підвищення енергетичної і адаптивної ефективності теплоутилізатора із забезпеченням рівномірного розподілу повітря по його довжині, а також підвищення рівномірності температури повітря, що розподіляється.

3. Виклад основного матеріалу

Розроблений адаптивний тритрубний теплоутилізатор (рис. 1) здійснює технологічний процес наступним чином [19]. Перед початком роботи оператор на блоці керування 16 встановлює граничні значення кількісного складу повітря (вміст вуглекислого газу, аміаку, сірководню), значення гранично допустимої швидкості повітря і значення оптимальної температури в приміщенні. Після чого запускає в роботу адаптивний тритрубний теплоутилізатор.

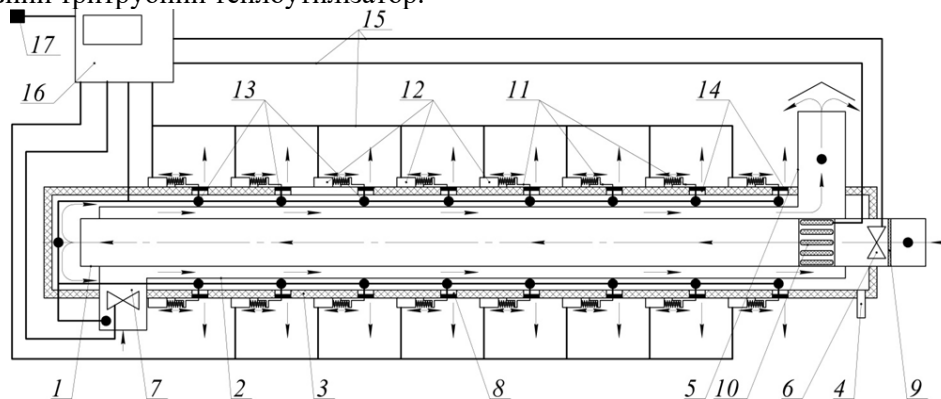


Рис. 1. Принципова схема адаптивного тритрубного теплоутилізатора



Блок керування 16 по засобах сигнальних проводів 15 запускає припливний вентилятор 6 і витяжний вентилятор 7. Таким чином припливне (холодне) повітря крізь повітряний фільтр 9 (де воно очищується) вентилятором 6 подається по внутрішній трубі 1. Вентилятором 7 витягне (тепле) повітря із приміщення нагнітається в простір між внутрішньою 1 і середньою 2 трубами. Потoki повітря рухаються в протилежному напрямі: витяжне повітря надходить у зовнішню середовище з витяжної шахти 5, а припливне повітря розвертається і продовжує рух у зворотному напрямку в просторі між середньою 2 і зовнішньою 3 трубами. Протилежний напрям потоків припливного та витяжного повітря підвищує енергетичну ефективність теплоутилізатора та дозволяє підвищити рівномірність температури повітря, що розподіляється по довжині теплоутилізатора. Таким чином відбувається процес теплообміну між припливним і витяжним повітрям через стінки внутрішньої 1 і середньої 2 труб, завдяки чому припливне повітря підігрівається на певну величину. Теплоізоляція зовнішньої труби 3 теплоутилізатора зменшує теплообмін між тим повітрям, що розподіляється і повітрям у приміщенні, внаслідок чого підвищується енергетична ефективність теплоутилізатора. Далі повітря під час проходження в просторі між середньою трубою 2 і зовнішньою трубою 3 поступово виходить із розподільних отворів 8, які в початковий момент часу повністю відкриті. При охолодженні витяжного повітря на зовнішній поверхні труби 1 і внутрішній поверхні труби 2 утворюється конденсат для відведення якого служить трубка 4.

Датчики швидкості повітря 14 визначають швидкість повітря з розподільних отворів 8 і передають інформацію по засобах сигнальних проводів 15 до блока керування 16. Блок керування 16 порівнює усі значення швидкості повітря між собою, визначає мінімальне значення і передає цифровий сигнал по засобах сигнальних проводів 15 до сервоприводів 12. Сервоприводи 12, переміщуючи заслінку 11, поступово перекривають розподільні отвори 8 до моменту досягнення рівномірності потоків повітря.

У випадку перевищення (зменшення) значень швидкостей потоків повітря у розподільних отворах 8 від гранично допустимої швидкості повітря блок керування 16 по засобах сигнальних проводів 15 зменшує (або збільшує) швидкість обертання лопатей припливного 6 і витяжного 7 вентиляторів, зменшуючи (збільшуючи) швидкість потоків повітря на вході внутрішньої труби 1 і середньої труби 2.

Датчики температури 13 визначають температури повітря із розподільних отворів 8 і передають інформацію по засобах сигнальних проводів 15 до блока керування 16. Блок керування 16 порівнює всі значення температури повітря із значенням оптимальної температури в приміщенні. У разі низького значення температури блок керування 16 по засобах сигнальних проводів 15 вмикає каналний електричний нагрівач 10. Досягнувши оптимальної температури в приміщенні блок керування 16 по засобах сигнальних проводів 15 вимикає каналний електричний нагрівач 10.

Тривалість роботи адаптивного тритрубного теплоутилізатора визначається за умови дотримання встановлених оператором значень до вимірюваних показників кількісного складу повітря (вміст вуглекислого газу, аміаку, сірководню), температури і швидкості повітря в приміщенні, які визначаються датчиком якості повітря 17, датчиками температури 13 і датчиками швидкості повітря 14 відповідно.

Перейдемо до аналітичних досліджень конструктивно-технологічних параметрів розробленого адаптивного тритрубного теплоутилізатора.

Розглянемо розрахункову схему для визначення алгоритму роботи заслінок на отворах у повітропроводі адаптивного тритрубного теплоутилізатора (рис. 2).

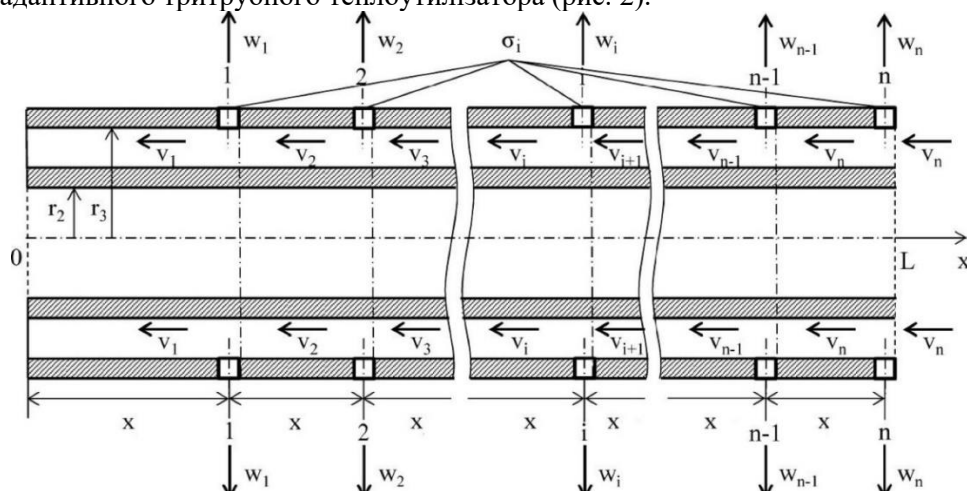


Рис. 2. Розрахункова схема повітропроводу адаптивного тритрубного теплоутилізатора



В якості вісі абсцис обрано вісь адаптивного тритрубного теплоутилізатора із початком координат у центрі його торцевого перерізу. Теплоутилізатор має довжину L , вздовж якої рівномірно розташовано n отворів різної площини σ_i . Швидкість потоку повітря на початку повітропроводу складає V_n . Необхідно встановити, як змінюються площа отворів по довжині теплоутилізатора, щоб забезпечити рівномірний розподіл повітря.

Пронумеруємо всі отвори проти руху потоку повітря і проведемо поперечні перерізи за кожним отвором.

Швидкість потоку повітря, яке проходить через i -тий отвір визначається згідно формули Торрічеллі:

$$w_i = \phi \sqrt{\frac{2}{\rho} \Delta p_i}, \quad (1)$$

де ρ – густина повітря, кг/м^3 ; Δp_i – втрати тиску на i -тому отворі, Па; ϕ – коефіцієнт витрат отвору, $\phi = 0,65$.

З рівняння (1) виразимо Δp_i :

$$\Delta p_i = \frac{\rho}{2} \left(\frac{w_i}{\phi} \right)^2, \quad (2)$$

Умовою рівномірного розподілу повітря є:

$$\frac{\sigma_i \cdot w_i}{x} = \frac{A \cdot v_n}{L}, \quad (3)$$

$$\sigma_i = \frac{A \cdot v_n}{n \cdot w_i}, \quad (4)$$

де σ_i – площа i -того отвору, м^2 ; L – довжина теплоутилізатора, м; x – відстань між отворами, м; n – кількість отворів; v_n – швидкість потоку повітря на початку повітропроводу, м/с

$$v_n = \frac{V_0}{A}, \quad (5)$$

де V_0 – об'ємні витрати повітря на початку повітропроводу, $\text{м}^3/\text{с}$; A – площа перерізу повітропроводу, м^2 :

$$A = \pi(r_3^2 - r_2^2) \quad (6)$$

де r_2, r_3 – радіуси повітропроводів, м.

Ще однією умовою рівномірної роздачі повітря є:

$$v_i = v_n \frac{i}{n}, \quad v_{i-1} = v_n \frac{i-1}{n}. \quad (7)$$

Запишемо рівняння Бернуллі для $(i-1)$ -того та i -того перерізу повітропроводу:

$$\Delta p_i + \frac{\rho \cdot v_i^2}{2} = \Delta p_{i-1} + \frac{\rho \cdot v_{i-1}^2}{2} + \kappa \frac{x}{d_e} \frac{\rho \cdot v_{i-1}^2}{2} + 2 \cdot \alpha \cdot \frac{\rho}{2} (v_i - v_{i-1})^2, \quad (9)$$

де $d_e = 2 \cdot (r_3 - r_2)$ – ефективний діаметр, м; κ – коефіцієнт опору тертя, $\kappa = 0,01717$; α – коефіцієнт пом'якшення удару $\alpha = 0,4$.

Підставляючи (1)–(7) у рівняння (9) отримуємо:

$$\Delta p_i = \Delta p_{i-1} - \left[i^2 - (i-1)^2 - \kappa \frac{x}{d_e} (i-1)^2 - 2 \cdot \alpha \right] \frac{\rho v_n^2}{2n^2}, \quad (10)$$

Перетворивши рівняння (10) остаточно отримуємо:

$$\sigma_i = \frac{1}{\sqrt{\frac{1}{\sigma_{i-1}^2} - \frac{\phi^2}{A^2} \left[i^2 - (i-1)^2 - \kappa \frac{x}{d_e} (i-1)^2 - 2 \cdot \alpha \right]}}, \quad (11)$$

Залежність (11) пов'язує площу σ_i із попередньою відстанню σ_{i-1} .

Для визначення площі отворів σ_i розробимо методику, яка складається з наступних етапів:

1. Встановлення параметрів $L, \phi, \alpha, \kappa, d_e, v_n, A, w_1, v_1$.



2. Визначення кроку варіювання площі отворів $\sigma = 2.001 \cdot j$, де j – номер отвору.
3. Розрахунок відстані σ_i за формулою (11), де i – номер отвору.
4. Розрахунок швидкості потоку повітря w_i за формулою (1).
5. Перевірка виконання умови (3).

Розроблена методика і реалізований на основі неї алгоритм виконанні в програмному пакеті Mathematica.

Наступний етап – проведення експериментальних досліджень, метою яких була перевірка правильності зроблених в ході теоретичних досліджень висновків і експериментальне обґрунтування раціональних конструкційно-режимних параметрів тритрубного теплоутилізатора для тваринницьких приміщень.

Виготовлено стенд, схема і загальний вигляд якого представлений на рис. 3. Експериментальний стенд для визначення площі отворів теплоутилізатора складається із шести двотрубних модулів; двох заглушок, труби і вентилятора із регулятором продуктивності. По довжині повітропроводу теплоутилізатора розташовані 14 отворів у двох виконаннях: із однаковою площиною та площиною розрахованою згідно розробленого алгоритму.

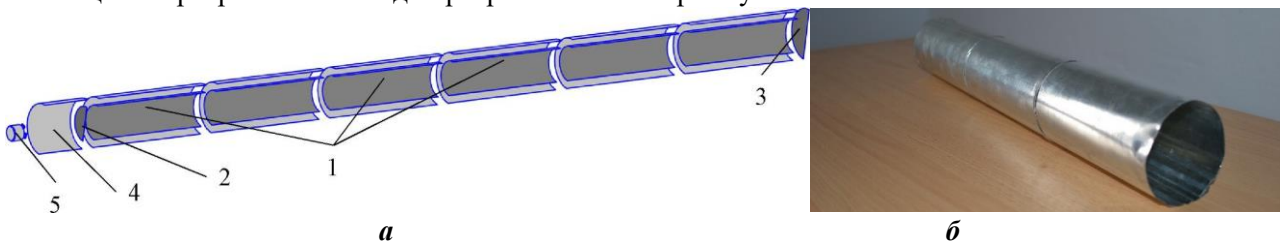


Рис. 3. Технологічна схема (а) і загальний вигляд (б) експериментального стенда визначення площі отворів теплоутилізатора: 1 – двотрубний модуль; 2 – мала заглушка; 3 – велика заглушка; 4 – труба; 5 – вентилятор із регулятором продуктивності

Швидкість потоку повітря крізь i -ий отвір повітропроводу w_i вимірювалась з використанням багатофункціонального вимірювального пристрою «Solomat MPM 500E». Необхідні об'ємні витрати повітря на початку повітропроводу V задавалися за допомогою регуляторів продуктивності вентиляторів TD-2000. Необхідні об'ємні витрати повітря на початку повітропроводу V дорівнювали $0,64 \text{ м}^3/\text{с}$.

Процес дослідження експериментального зразка тритрубного концентричного теплоутилізатора здійснено за методологічною схемою представленою на рисунку 4.



а) монтаж елементів експериментальної установки

б) налаштування обладнання для проведення дослідів

в) вимірювання швидкості потоку повітря

Рис. 4. Методологічна схема дослідження експериментального зразка тритрубного концентричного теплоутилізатора

Результати експериментів представлені на рис. 5. Графічний аналіз отриманих даних (рис. 5) дозволив встановити, що перший варіант розподілу площі отворів (який отримано згідно теоретичних досліджень є найбільш ефективним, оскільки він забезпечує рівномірний розподіл потоку повітря по довжині теплоутилізатора.

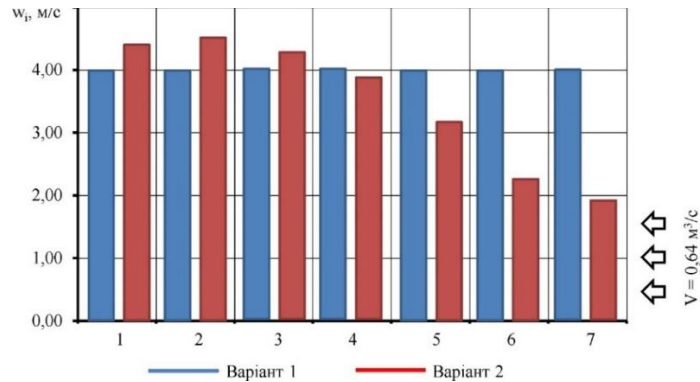
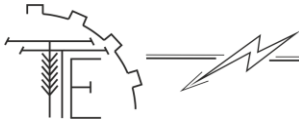


Рис. 5. Розподіл швидкостей повітря з отворів теплоутилізатора

Для кожного значення об'ємних витрат повітря на початку повітропроводу було розраховано коефіцієнт кореляції між теоретичним і експериментальним масивами даних, які знаходилися в межах $R = 0,92-0,98$.

5. Висновки

1. За результатами досліджень розроблено адаптивний тритрубний теплоутилізатор, який містить коаксіально встановлені труби, трубку для відведення конденсату, витяжну шахту, що проходить крізь зовнішню трубу, припливний вентилятор, витяжний вентилятор, розподільні отвори, повітряний фільтр, каналний електричний нагрівач, який відрізняється тим. Адаптивний тритрубний теплоутилізатор додатково обладнаний сервоприводами із заслінками, датчиками температури, датчиками швидкості повітря, які встановлені на всіх розподільних отворах, датчиком якості повітря, який розміщено у приміщенні, блоком керування, який по засобах сигнальних проводів приєднано до припливного вентилятора, витяжного вентилятора, каналного електричного нагрівача, сервоприводів, датчиків температури, датчиків швидкості повітря і датчика якості повітря

2. За результатами теоретичних досліджень, які підтверджені експериментально (коефіцієнт кореляції $R = 0,92-0,98$), розроблено методику і реалізовано на основі неї алгоритм визначення площі отворів у повітропроводі адаптивного тритрубного теплоутилізатора для тваринницьких приміщень. Встановлено, що відстань між отворами поступово зменшується до певного значення в напрямку протилежному руху повітряного потоку. Однак в кінці повітропроводу теплоутилізатора спостерігається незначне зменшення відстані, що спричинено зворотнім потоком повітря, яке зіштовхується із заглибленим кінцем.

Список використаних джерел

1. Дібіров Р. М. Вплив кліматичних факторів на продуктивність корів у спекотну погоду. *Науково-технічний бюлетень ІТ НААН*. 2013. №109. С. 53–57.
2. Ильин И. В., Курачий М. Г., Игнаткин И. Ю. Влияние параметров микроклимата на продуктивность свиней. *Перспективное свиноводство: теория и практика*. 2011. С. 37–38.
3. Фиалко Н. М., Шеренковский Ю. В., Степанова А. И., Навродская Р. А., Голубинский П. К., Новаковский М. А. Эффективность систем утилизации теплоты отходящих газов энергетических установок различного типа. *Промышленная теплотехника*. 2008. т. 30, №3. С. 68–76. ISSN 0204-3602.
4. Мартынова Е. Н., Ястребова Е. А. Формирование микроклимата животноводческих помещений под воздействием температуры наружного воздуха. *Молочное и мясное скотоводство*. 2012. №4. С. 24–27.
5. Yaropud V., Hunko I., Aliiev E., Kupchuk I. Justification of the mechatronic system for pigsty microclimate maintenance. *Agraarteadus, Journal of Agricultural Science*, 2021, XXXII (2): 341–351. DOI: 10.15159/jas.21.23
6. Пришляк В. М., Яропуд В. М. Оптимізація технологічних параметрів тепломасообмінного процесу в теплообмінниках концентричного типу. *Техніка, енергетика, транспорт АПК*. 2015. № 1. С.85–90.
7. Yaropud V. Analytical study of the automatic ventilation system for the intake of polluted air from the pigsty. *Scientific horizons*. 2021. Vol. 24. No. 3. P.19–27.
8. Калетнік Г. М., Яропуд В. М. Фізико-математична модель вентиляційної системи нагнітання чистого повітря у тваринницьких приміщеннях. *Техніка, енергетика, транспорт АПК*. 2021. № 3 (114). С. 4–15.
9. Кузич Р. В. Трубчатий рекуператор тепла вентиляційного повітря на зустрічних потоках : пат. 27057 Україна : МПК (2016.01) F24F 7/000 № u 2007 07023; заявл. 22.06.2007; опубл. 10.10.2007
10. Пришляк В. М., Яропуд В. М., Бабин І. А. Тритрубний теплоутилізатор: пат. 133549 Україна: МПК (2016.01) F24F 3/052 № u 201811361; заявл. 19.11.2018; опубл. 10.04.2019, Бюл. № 7.
11. Яропуд В. М. Теплоутилізатор для тваринницьких приміщень. *Вібрації в техніці та технологіях*. 2017. № 4 (87). С. 124–128.



12. Hunko I., Prishliak V., Yaropud V., Branitskyi Y. Three-pipe concentric heat exchanger for sty. *MOTROL. Commission of Motorization and Energetics in Agriculture*. 2017. Vol. 19. No 3. 33–37.
13. Пришляк В. М., Яропуд В. М., Ковязін О. С., Алієв Е. Б. Обґрунтування геометричних параметрів розташування отворів у повітропроводі трьохтрубного концентричного теплоутилізатора. *Промислова гідроліка і пневматика*. 2015. № 4(46). С. 83–85.
14. Пришляк В. М., Яропуд В. М. Обґрунтування конструктивних параметрів рекуперативних теплоутилізаторів для тваринницьких приміщень. *Збірник наукових праць Вінницького національного аграрного університету. Серія: Технічні науки*. Вінниця. 2014. Випуск 2 (85). С. 102–112.
15. Пришляк В. М., Яропуд В. М., Ковязін О. С., Алієв Е. Б. Теоретичні дослідження пневмовтраг трьохтрубного концентричного теплоутилізатора. *Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: техніка та енергетика АПК*. 2014. Вип. 196. ч. 3. С. 192–199.
16. Яропуд В. М. Дослідження процесу функціонування та оптимізація конструктивно-технологічних параметрів тритрубного рекуператора. *Техніка, енергетика, транспорт АПК*. 2020. №1 (108). С. 23–32.
17. Алієв Е. Б., Яропуд В. М., Білоус І. М. Обґрунтування складу енергозберігаючої системи забезпечення мікроклімату в свинарських приміщеннях. *Вібрації в техніці та технологіях*. Вінниця, ВНАУ. 2020. № 2 (97). С. 29–137. DOI: 10.37128/2306-8744-2020-2-14.
18. Барон В. Г., Гершкович В. Г. Пристрій утилізації тепла витяжного повітря: пат. 11134 Україна: F24F7/007 № u 2005 04888; заявл. 23.05.2005; опубл. 15.12.2005, Бюл. № 12
19. Гончарук І. В., Яропуд В. М., Алієв Е. Б., Купчук І. М. Патент України на корисну модель 148273, МПК F24F 3/052 (2006.01), F24F 7/04 (2006.01). Адаптивний тритрубний теплоутилізатор. Заявник: Вінницький національний аграрний університет, № u202101276. Заявл. 15.03.2021. Опубл. 21.07.2021, бюл. № 29.

References

- [1] Dibiřov, R.M. (2013). Vpliv klімatichnikh faktoriv na produktivnіst' koriv u spekotnu pogodu. *Naukovo-tehnіchniy byuleten' IT NAAN*. №109. S. 53–57. [in Ukrainian].
- [2] P'in, I.V., Kuryachiy, M.G., Ignatkin, I.YU. (2011). Vliyaniye parametrov mikroklімata na produktivnost' sviney. *Perspektivnoye svinovodstvo: teoriya i praktika*. S. 37–38. [in Ukrainian].
- [3] Fialko, N.M., Sherenkovskiy, YU.V., Stepanova, A.I., Navrodsкая, R.A., Golubinskiy, P.K., Novakovskiy, M.A. (2008). Effektivnost' sistem utilizatsii teploty otkhodyashchikh gazov energeticheskikh ustanovok razlichnogo tipa. *Promyshlennaya teplotekhnika*. t. 30, № 3. S. 68–76. ISSN 0204-3602. [in Ukrainian].
- [4] Martynova, Ye.N., Yastrebova, Ye.A. (2012). Formirovaniye mikroklімata zhivotnovodcheskikh pomeshcheniy pod vozdeystviyem temperatury naruzhnogo vozdukha. *Molochnoye i myasnoye skotovodstvo*. № 4. S. 24–27. [in Ukrainian].
- [5] Yaropud, V., Hunko, I., Aliyev, E., Kupchuk, I. Justification of the mechatronic system for pigsty microclimate maintenance. *Agraarteadus, Journal of Agricultural Science*, 2021, XXXII (2): 341–351. DOI: 10.15159/jas.21.23. [in Ukrainian].
- [6] Pryshlyak, V.M., Yaropud, V.M. (2015). Optyimizatsiya tekhnolohichnykh parametrov teplomasoobminnoho protsesu v teplotobminnykakh konsentrychnoho typu. *Tekhnika, enerhetyka, transport APK*. № 1. S.85–90. [in Ukrainian].
- [7] Yaropud, V. (2021). Analytical study of the automatic ventilation system for the intake of polluted air from the pigsty. *Scientific horizons*. Vol. 24. No. 3. P.19–27. [in English].
- [8] Kaletnik, H.M., Yaropud, V.M. (2021). Fyzyko-matematychna model' ventylyatsiynoyi systemy nahnitannya chystoho povitrya u tvarynnyts'kykh prymishchennyakh. *Tekhnika, enerhetyka, transport APK*. № 3 (114). S. 4–15. [in Ukrainian].
- [9] Kuzich, R.V. Trubchatiy rekuperator tepla ventylyatsiynogo povitrya na zustrіchnikh potokakh : pat. 27057 Ukraїna : MPK (2016.01) F24F 7/000 № u 2007 07023; zayavl. 22.06.2007; opubl. 10.10.2007. [in Ukrainian].
- [10] Pryshlyak, V.M., Yaropud, V.M., Babyn, I.A. Trytrubnyy teploutylizator: pat. 133549 Ukrayina: MPK (2016.01) F24F 3/052 № u 201811361; zayavl. 19.11.2018; opubl. 10.04.2019, Byul. № 7. [in Ukrainian].
- [11] Yaropud, V.M. Teploutylizator dlya tvarynnyts'kykh prymishchen'. *Vibratsiyi v tekhnitsi ta tekhnolohiyakh*. 2017. № 4 (87). S. 124–128. [in Ukrainian].
- [12] Hunko, I., Prishliak, V., Yaropud, V., Branitskyi, Y. (2017). Three-pipe concentric heat exchanger for sty. *MOTROL. Commission of Motorization and Energetics in Agriculture*. Vol. 19. No 3. 33–37. [in English].
- [13] Pryshlyak, V.M., Yaropud, V.M., Kovyazin, O.S., Aliyev, E.B. (2015). Obgruntuvannya heometrychnykh parametrov roztashuvannya otvoriv u povitroprovodi tr'okhtrubnogo konsentrychnogo teploutylizatora. *Promyslova hidravlika i pnevmatyka*. № 4(46). S. 83–85. [in Ukrainian].
- [14] Pryshlyak, V.M., Yaropud, V.M. (2014). Obgruntuvannya konstruktivnykh parametrov rekuperativnykh teploutylizatoriv dlya tvarynnyts'kykh prymishchen'. *Zbirnyk naukovykh prats'*



- Vinnyts'koho natsional'noho ahrarnoho universytetu. Seriya: Tekhnichni nauky. Vinnytsya. Vypusk 2 (85). S. 102-112. [in Ukrainian].
- [15] Pryshlyak, V.M., Yaropud, V.M., Kovyazin, O.S., Aliyev, E.B. (2014). Teoretychni doslidzhennya pnevmovtrat tr'okhrubnoho kontsentrychnoho teploutylizatora. *Naukovyy visnyk Natsional'noho universytetu bioresursiv i pryrodokorystuvannya Ukrainy. Seriya: tekhnika ta enerhetyka APK*. Vyp. 196. ch. 3. S. 192–199. [in Ukrainian].
- [16] Yaropud, V.M. (2020). Doslidzhennya protsesu funktsionuvannya ta optymizatsiya konstruktyvno-tekhnolohichnykh parametriv tryrubnoho rekuperatora. *Tekhnika, enerhetyka, transport APK*. №1 (108). S. 23–32. [in Ukrainian].
- [17] Aliyev, E.B., Yaropud, V.M., Bilous, I. M. (2020). Obgruntuvannya skladu enerhozberihayuchoyi systemy zabezpechennya mikroklimatu v svynars'kykh prymishchennyakh. *Vibratsiyyi v tekhnitsi ta tekhnolohiyakh. Vinnytsya, VNAU*. № 2 (97). S. 29–137. DOI: 10.37128/2306-8744-2020-2-14. [in Ukrainian].
- [18] Baron, V.G., Gershkovich, V.G. Pristriy utilizatsii tepla vityazhnogo povitrya: pat. 11134 Ukraïna: 7F24F7/007 № u 2005 04888; zayavl. 23.05.2005; opubl. 15.12.2005, Byul. № 12. [in Ukrainian].
- [19] Goncharuk, I. V., Yaropud, V. M., Aliiev, Ye. B., Kupchuk, I. M. Patent Ukraïni na korisnu model' 148273, MPK F24F 3/052 (2006.01), F24F 7/04 (2006.01). Adaptivniy tritrubniy teploutylizator. Zayavnik: Vinnits'kiy natsional'niy agrarniy universitet, № u202101276. Zayavl. 15.03.2021. Opubl. 21.07.2021, byul. № 29. [in Ukrainian].

JUSTIFICATION OF THE STRUCTURAL AND TECHNOLOGICAL PARAMETERS OF THE ADAPTIVE THREE-PIPE HEAT EXCHANGER FOR ANIMAL ROOM

As a result of the research, an adaptive three-pipe heat exchanger was developed, containing coaxially installed pipes, a condensate drain pipe, an exhaust shaft passing through the outer pipe, a supply fan, an exhaust fan, distribution openings, an air filter, and a duct electric heater. The adaptive three-pipe heat exchanger is additionally equipped with servo drives with dampers, temperature sensors, air velocity sensors installed on all distribution openings, an air quality sensor located in the room, a control unit that is connected to the supply fan, exhaust valve by means of signal wires. heater, servo drives, temperature sensors, air speed sensors and air quality sensor As a result of theoretical studies, confirmed experimentally (correlation coefficient $R = 0.98$), a method was developed and based on it an algorithm for determining the area of holes in the air duct of an adaptive three-pipe heat exchanger for livestock buildings was developed. It has been established that the distance between the holes gradually decreases to a certain value in the opposite direction of the air flow. However, there is a slight reduction in distance at the end of the heat exchanger duct due to the backflow of air that collides with the plugged end.

Key words: microclimate, livestock building, ventilation, heat exchanger, automation, parameters, research, dependencies.

F. 11. Fig. 5. Ref. 19.

ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ

Яропуд Віталій Миколайович – кандидат технічних наук, доцент кафедри машин та обладнання сільськогосподарського виробництва Вінницького національного аграрного університету, (вул. Сонячна, 3, м. Вінниця, 21008, Україна, +380978399834, yaropud77@gmail.com, <http://orcid.org/0000-0003-0502-1356>).

Купчук Ігор Миколайович – кандидат технічних наук, доцент кафедри загальнотехнічних дисциплін та охорони праці Вінницького національного аграрного університету (вул. Сонячна, 3, м. Вінниця, 21008, Україна, +380978173992, kupchuk.igor@i.ua, <http://orcid.org/0000-0002-2973-6914>).

Бурлака Сергій Андрійович – доктор філософії, старший викладач кафедри «Технологічних процесів та обладнання переробних і харчових виробництв» Вінницького національного аграрного університету (вул. Сонячна, 3, м. Вінниця, 21008, Україна, e-mail: ipserhiy@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-8036-1743>).

Vitalii Yaropud – Ph.D. of Engineering, Associate Professor at the Department of Machinery and Equipment of Agricultural Production of Vinnytsia National Agrarian University (3, Sonychna St., Vinnytsia, 21008, Ukraine, +380978399834, yaropud77@gmail.com, <http://orcid.org/0000-0003-0502-1356>).

Ihor Kupchuk – Ph.D. of Engineering, Associate Professor at the Department of General Technical Disciplines and Labor Protection of Vinnytsia National Agrarian University (3, Sonychna St., Vinnytsia, 21008, Ukraine, +380978173992, kupchuk.igor@i.ua, <http://orcid.org/0000-0002-2973-6914>).

Serhiy Burlaka – Doctor of Philosophy, Senior Lecturer, Department of Technological Processes and Equipment of Processing and Food Production, Vinnytsia National Agrarian University (3 Solnechnaya St., Vinnytsia, 21008, Ukraine, e-mail: ipserhiy@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-8036-1743>).