

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ**

ТРОХАНЯК ВІКТОР ІВАНОВИЧ

УДК 620.97:536.584:631.227

**ЕНЕРГОЕФЕКТИВНА СИСТЕМА ПІДТРИМАННЯ МІКРОКЛІМАТУ
В ПТАХІВНИЧИХ ПРИМІЩЕННЯХ**

05.09.03 «Електротехнічні комплекси та системи»

Автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Київ – 2017

Дисертацією є рукопис

Роботу виконано в Національному університеті біоресурсів і природокористування України Міністерства освіти і науки України

Науковий керівник доктор технічних наук, старший науковий співробітник
Горобець Валерій Григорович,
Національний університет біоресурсів
і природокористування України,
завідувач кафедри теплоенергетики

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Лисиченко Микола Леонідович,
Харківський національний технічний університет
сільського господарства ім. Петра Василенка,
завідувач кафедри автоматизованих
електротехнічних систем

кандидат технічних наук, доцент
Рутило Микола Іванович,
Тернопільський національний педагогічний
університет імені Володимира Гнатюка,
доцент кафедри машинознавства і транспорту

Захист відбудеться «14» червня 2017 року о 10⁰⁰ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 26.004.07 у Національному університеті біоресурсів і природокористування України за адресою: 03041, м. Київ, вул. Героїв Оборони, 15, навчальний корпус № 3, кімната 301

З дисертацією можна ознайомитися в науковій бібліотеці Національного університету біоресурсів і природокористування України за адресою: 03041, м. Київ, вул. Героїв Оборони, 13, навчальний корпус № 4, кімната 41а

Автореферат розісланий « » травня 2017 року

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради

А. В. Петренко

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. На сучасному етапі розвитку енергетичного комплексу України важливою проблемою є збільшення потужності енергоресурсів та енергозбереження в усіх галузях промисловості та сільського господарства. Швидкий розвиток птахівничої галузі в агропромисловому комплексі України, який спостерігається останнім часом, пов'язаний з важливою проблемою вдосконалення систем підтримання мікроклімату в птахівничих приміщеннях. Це зумовлено необхідністю підвищення продуктивності та зниження собівартості продукції птахівничих комплексів. Зазначені проблеми нерозривно пов'язані із застосуванням сучасних методів енергозабезпечення цих об'єктів і використанням новітніх засобів енергопостачання та альтернативних джерел енергії. Тому актуальним є розроблення нових підходів та вдосконалення електротехнічних комплексів для існуючих систем енергопостачання птахоферм.

Розвиток нових технологій в енергетичній галузі, перехід на новий рівень енергозабезпечення об'єктів, у тому числі вентиляційних систем птахівничих комплексів, характеризується пришвидшенням темпів зростання всіх кількісних та якісних показників виходу продукції, а також удосконаленням всієї структури птаховиробництва.

Підвищення продуктивності птахофабрик пов'язане з необхідністю створення оптимального мікроклімату в приміщеннях пташників. При цьому важливою задачею стає пошук нових підходів і принципів для вирішення проблеми охолодження та нагрівання припливного повітря птахівничих приміщень у літній і зимовий період. Ця проблема є особливо важливою у зв'язку зі зниженням продуктивності роботи птахоферм, що зумовлено недосконалістю існуючих систем мікроклімату в літній період за наявності високої температури та вологості зовнішнього повітря. Слід зазначити, що існуючі системи енергопостачання пташників потребують великих витрат енергоресурсів та коштів для забезпечення мікроклімату в птахівничих приміщеннях. Тому необхідною передумовою заощадження ресурсів у цій галузі стає проведення нових досліджень з удосконалення систем мікроклімату на птахофермах.

Питання підвищення енергоефективності пташників розглядали такі вчені, як П. М. Болотнов, І. А. Мимрин, Д. Балнев, Я. Халзебош, Г. Л. Нелсон, Д. Кампбел та інші автори. Незважаючи на це, низка питань так і залишилася не до кінця вивченою, а саме: діючі системи охолодження пташників є енергозатратними та недостатньо ефективними. Крім того, вони не забезпечують необхідного рівня температур та вологісний режим у пташниках в літній період року. Саме це й зумовлює актуальність широкої постановки робіт, спрямованих на вивчення процесів у електротехнічному комплексі, засобів підвищення енергетичної ефективності та підтримання мікроклімату в пташнику.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дослідження проводились у Національному університеті біоресурсів і природокористування України відповідно до державних тематик: «Дослідження теплообмінного обладнання для когенераційних установок на базі поршневих двигунів внутрішнього згоряння» (номер державної реєстрації 0114U002962) та «Експериментальне

дослідження, математичне моделювання і енергетична ефективність нових теплообмінних апаратів» (номер державної реєстрації 0114U002963).

Мета та завдання дослідження. Мета роботи – створення енергоефективної системи підтримання мікроклімату в птахівничих приміщеннях на основі використання електротехнічним комплексом низькопотенціальної енергії води підземних свердловин.

Для досягнення цієї мети в дисертаційній роботі було поставлено такі задачі:

проаналізувати якість функціонування електротехнічного комплексу, що є складовою технології підтримання мікроклімату для визначення шляхів зниження енергетичних затрат на забезпечення мікроклімату в птахівничих приміщеннях.

обґрунтувати принципи побудови модернізації електротехнічного комплексу для підвищення ефективності підтримання мікроклімату в пташниках із використанням низькопотенціальної енергії води підземних свердловин.

розробити:

- математичну та імітаційну моделі тепломасопереносу в приміщеннях пташників для оцінки та вибору режимів керування електротехнічним комплексом і раціонального розташування енергетичного обладнання;

- математичну модель процесів тепломасопереносу теплообмінного апарата для оптимізації його конструктивних особливостей;

- експериментальний модернізований електротехнічний комплекс для підтримання мікроклімату в пташниках, провести експериментальні дослідження для визначення раціональних режимів його функціонування;

- метод енергоефективного керування модернізованим електротехнічним комплексом для підтримання мікроклімату в пташнику на основі використання нечітких нейронних мереж.

Об'єкт дослідження – режими функціонування електротехнічного комплексу та процеси підтримання мікроклімату на птахофабриках.

Предмет дослідження – взаємозв'язки й закономірності режимів функціонування електротехнічного комплексу та їх вплив на енергоефективність системи підтримання мікроклімату в пташниках.

Методи досліджень. Теоретична складова досліджень супроводжувалася використанням методів: математичної фізики, прикладної математики, імітаційного моделювання, сучасної теорії автоматичного керування.

Експериментальні дослідження проводилися методом активного експерименту, а опрацювання їх результатів здійснювалося з використанням статистичного аналізу офісного додатку Microsoft Office Excel та програмного пакету MathCad. Порівняння результатів експериментального дослідження та математичного моделювання показало збіжність – відхилення не перевищували 5 %.

Наукова новизна одержаних результатів. Основні положення роботи, які визначають наукову новизну наукових результатів досліджень, полягають у наступному:

Результатом імітаційного та числового моделювання процесів тепломасопереносу науково обґрунтовано принципи функціонування модернізованого електротехнічного комплексу та розташування його складових в

птахівничому приміщенні, що уможливило суттєве зменшення кількості вентиляторів порівняно з типовими рішеннями.

Уперше запропоновано формувати керуючі впливи на електротехнічний комплекс пташника з використанням нечітких нейромереж на основі результатів оцінки зовнішніх збурень, станів атмосфери пташника та низькопотенціальної енергії води підземних свердловин, що дало змогу скоротити енерговитрати порівняно з типовими рішеннями.

Встановлено залежність напору та питомої продуктивності вентиляторів від температурно-вологісного стану повітря у пташнику і води підземних свердловин, що дало змогу підвищити енергоефективність електротехнічного комплексу за рахунок суттєвого зниження витрат природного газу на обігрів пташників у зимовий період.

Практичне значення одержаних результатів. На основі використання CFD моделювання розроблено методику числового розрахунку вентиляційних систем, що уможливило вдосконалення електротехнічного комплексу для підтримання мікроклімату в птахівничих приміщеннях.

Уперше для підвищення енергоефективності системи вентиляції за результатами математичного моделювання процесів гідродинаміки і теплопереносу запропоновано нову конструкцію кожухотрубного теплообмінного апарата з компактним розташуванням труб у трубному пучку для охолодження та нагрівання повітря у пташнику в літній і зимовий періоди, яка має суттєві переваги щодо масогабаритних показників порівняно з відомими конструкціями.

Запропоновано алгоритми енергоефективного керування електротехнічним комплексом із використанням низькопотенціальної енергії води підземних свердловин, що приводить до скорочення енергетичних витрат в 2,3 рази.

Техніко-економічний розрахунок показав, що використання вдосконаленого способу підтримання мікроклімату в пташниках з використанням води підземних свердловин та теплообмінників-рекуператорів для опалювально-вентиляційної системи є економічно доцільним, оскільки при цьому споживання газу зменшується в 3,17 рази; запропоноване обладнання має строк окупності 1,4 року.

Особистий внесок здобувача. У дисертаційну роботу ввійшли наукові результати, отримані здобувачем особисто; йому належить вибір методик дослідження, аналіз та узагальнення досягнутих теоретичних результатів щодо мікроклімату птахівничого приміщення і теплообмінних апаратів. Розроблено експериментальну установку вентиляційної системи охолодження повітря із застосуванням нового кожухотрубного теплообмінного апарата, використовуючи новий зміщено-дотичний метод розташування труб у трубному пучку. На даній установці проведено експерименти та узагальнено результати експериментальних досліджень [9, 11]. Результати зіставлення числових результатів з експериментальними даними свідчать, що максимальні відхилення не перевищують 5 %. Усі основні результати дисертаційної роботи отримано здобувачем самостійно. Безпосередньо здобувачем: [6] – запропоновано методику розрахунку середнього коефіцієнта тепловіддачі на поверхні трубного пучка; [6, 8] – розглянуто особливості побудови сітки для задач гідро- газодинаміки і тепло- масопереносу при поперечному обтіканні трубних пучків із різною конфігурацією розташування в

них труб. У колективних публікаціях зі співавторами внесок здобувача переважає; [5, 9] – проведено числове моделювання процесів гідродинаміки та теплопереносу в теплообміннику нової конструкції за допомогою САПР ANSYS Fluent 14.0. Отримано локальні розподіли поля швидкостей, векторів швидкості та температур. У результаті проведених інженерних та числових розрахунків запропоновано нову, ефективну конструкцію теплообмінника для охолодження повітря в пташнику, призначеного на літній період, на який отримано патенти України на винахід [16, 17]; [4, 15] – проведено комп'ютерне математичне моделювання процесів тепло-і масопереносу в пучках труб різної геометрії при компактному розміщенні труб з використанням програмного комплексу ANSYS Fluent. Здійснено порівняльний аналіз теплогідравлічної ефективності [3, 13, 14] для каналів різної конструкції та показано, що запропоновані конструкції є ефективними, порівняно з відомими конструкціями, при суттєвому зменшенні масогабаритних показників теплообмінної поверхні; [1, 2, 12] – проведено математичне моделювання системи вентиляції та охолодження пташника з використанням теплообмінного обладнання і без нього.

Апробація результатів дисертації. Основні положення дослідження представлено, обговорено та схвалено: на щорічних наукових конференціях професорського наукового складу Національного університету біоресурсів і природокористування України (м. Київ, 2013–2016 рр.); Всеукраїнській науково-практичній конференції «Виробництво екологічно безпечної сільськогосподарської продукції» (м. Ніжин, 2013 р.); II Міжнародній науково-практичній конференції до 115-річчя заснування Національного університету біоресурсів і природокористування України «Енергетика та комп'ютерно-інформаційні технології» (м. Бережани, 2013 р.); Міжнародній науково-практичній конференції «Актуальність питання сталого розвитку сільськогосподарського виробництва» (м. Бережани, 2014 р.); XVII Міжнародній конференції «Теплотехника и энергетика в металлургии» (м. Дніпропетровськ, 2014 р.); Міжнародній науково-практичній конференції «Сучасні тенденції та перспективи розвитку збалансованого природокористування в агропромисловому виробництві» (м. Ніжин, 2015 р.); Всеукраїнській науково-практичній конференції молодих учених, спеціалістів, аспірантів «Проблеми енергоресурсозбереження в промисловому регіоні» (м. Маріуполь, 2015 р.); VII Міжнародній науково-практичній конференції «Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті» (м. Херсон, 2015 р.); VI Міжнародній науково-технічній конференції, присвяченій пам'яті І. І. Мартиненка, «Енергозабезпечення технологічних процесів в агропромисловому комплексі України» (м. Мелітополь, 2015 р.).

Публікації. Основні результати дисертаційної роботи викладено у 27 наукових працях, з яких 2 статті у наукових фахових виданнях України, 9 статей у наукових фахових виданнях України, включених до міжнародних наукометричних баз даних, 4 статті у наукових виданнях інших держав, 2 патенти України на винахід та 10 тез наукових доповідей.

Структура та обсяг дисертації. Загальний обсяг дисертації становить 240 сторінок друкованого тексту. Вона містить вступ, чотири розділи, висновки, додатки та список використаних джерел зі 180 найменувань, з них 47 іноземною мовою. Дисертація містить 97 рисунків, 7 таблиць та 8 додатків.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтовано актуальність теми дисертаційного дослідження, розкрито суть наукового завдання, сформульовано мету і задачі, необхідні для її досягнення, наукову новизну та практичну значущість роботи.

У першому розділі «Основні принципи створення електротехнічних комплексів для забезпечення мікроклімату в пташниках і стан проблеми» на основі аналізу наявної наукової, технічної та довідкової літератури, проведено огляд відомих електротехнічних систем підтримання мікроклімату в пташниках та існуючих систем вентиляції і вивчено стан проблеми.

Регулювання швидкості обертів двигуна вентиляторів та управління електротехнічним комплексом пташника здійснюється тиристорним регулятором напруги типу МК-ВАУЗ «Кліматика-1», ТСУ-2-КЛ УЗ, або ТСУ-5 (рис. 1). Дані системи є дещо застарілими, але найбільш розповсюдженими.

Аналіз результатів досліджень в опублікованих працях свідчить про необхідність проведення подальших досліджень, удосконалень та розроблення нових електротехнічних комплексів для підтримання мікроклімату. Системами електротехнічного комплексу для підтримання нормованого мікроклімату в пташниках вивчали та досліджували І. І. Мартиненко, І. Ф. Бородин, Ф. А. Давтян, Ю. М. Бабаханов, С. Данюс та інші.

Ільясов Б. Г., Таранов Д. М., Каун О. Ю., Комеліна А. В. та ін. проаналізували дослідження структури та адаптивних алгоритмів роботи управління перетворювачем частоти електро-центробіжного насоса системи водопостачання, побудованої на основі нечітких нейромереж.

З розвитком птахівиробництва значного розповсюдження набуло будівництво великогабаритних приміщень для утримання птиці. При цьому технологічний

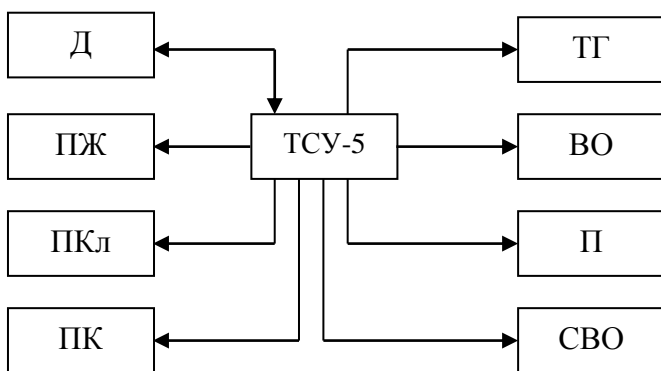


Рис. 1. Структурна схема системи автоматичного керування ТСУ-5 у пташничому приміщенні: ТСУ-5 – тиристорна станція керування; Д – датчики; ПЖ – припливні жалюзі; ПКл – припливні клапани; ТГ – тепло-генератор; ПК – персональний комп'ютер; ВО – вентиляційне обладнання; СВО – система випарного охолодження; П – поїлки.

процес повинен забезпечувати у пташниках нормований мікроклімат і для його підтримання, підтверджує Ю. М. Бабаханов, незалежно від виду птиці та її віку, необхідно використовувати 50–75 % від загального річного енергоспоживання. Дослідження, проведені Б. Х. Драгановим, В. В. Козирським, Ф. А. Давтяним, свідчать, що на підігрів припливного вентиляційного повітря припадає 45 %, а на створення оптимальної системи вентиляції – близько 30 % річного енергоспоживання. Решта припадає на напування, годівлю та освітлення. Річні витрати електроенергії залежать від способів регулювання теплової потужності та режимів системи вентиляції.

Вивчено різні типи систем вентиляційного обладнання, розглянуто їх особливості та вибрано найбільш енергоефективну систему вентилявання, а саме: тунельну вентиляцію, яку вибрано за базову при подальших розрахунках.

Баркалов Б. В. та Карпис Е. Е. стверджують, що для цілорічного утримання птиці в приміщеннях пташників необхідно застосовувати вентиляційно-охолоджувальні пристрої або установки кондиціонування повітря.

Сучасними системами охолодження припливного повітря в пташниках займалися П. М. Болотнов, І. А. Мимрин, Д. Балнев, Я. Халзебош, Г. Л. Нелсон, Д. Кампбел та інші автори.

На сучасному етапі у птахівництві знайшли застосування основні методи систем охолодження повітря:

- розпилювальні – форсунковий і дисковий методи;
- випарні – через касети примусового охолодження.

Один із видів охолодження повітря в пташнику базується на використанні касет і вважається найбільш ефективним. Принцип роботи цього методу полягає у використанні значної кількості комірок, у яких відбувається зволоження поверхні обтікання, що дає змогу суттєво знизити температуру припливного повітря за рахунок випаровування вологи з його стінок. Касети випарного охолодження («cooling pad») застосовуються в умовах високих зовнішніх температур, які можуть перевищувати +37 °С.

Недоліком даного способу є великий аеродинамічний опір та висока вартість установки. Крім того, касети можуть засмічуватися пилом, у вологому середовищі комірок утворюється цвіль, яка викидає масу антибіотичних компонентів, а за значної вологості зовнішнього повітря ефективність пристрою падає. Такі чинники спонукають до частої заміни касет вже на першому році експлуатації, максимальний термін якої не перевищує 10 років і залежить від якості води, профілактичних робіт та режиму експлуатації. Отже, наявні методи зниження температури припливного повітря в пташниках мають ряд недоліків, для певних умов зовнішнього середовища недостатньо ефективні та потребують значних енергетичних і матеріальних витрат. У зв'язку з цим, необхідно проводити подальші роботи з удосконалення та розроблення нових енергозберігаючих систем підтримання мікроклімату в пташниках.

У другому розділі **«Розробка енергоефективного електротехнічного комплексу для підтримання мікроклімату в птахівничих приміщеннях з використанням низькопотенціальної енергії води підземних свердловин»** на основі проведених теоретичних та експериментальних досліджень запропоновано та розроблено нову електротехнічну систему підтримання нормованого мікроклімату в пташнику, яка базується на використанні води підземних свердловин із застосуванням теплообмінників-рекуператорів для охолодження та нагрівання припливного повітря в літній і зимовий періоди. Запропонована електро-технічна система уможливорює зниження температури припливного повітря в пташнику в літній період від +30...+40 °С до +16...+20 °С без підвищення його відносної вологості та підвищення температури повітря від -10...-30 °С до +6...+8 °С з подальшим його нагріванням додатковими генераторами теплоти до +16...+20 °С.

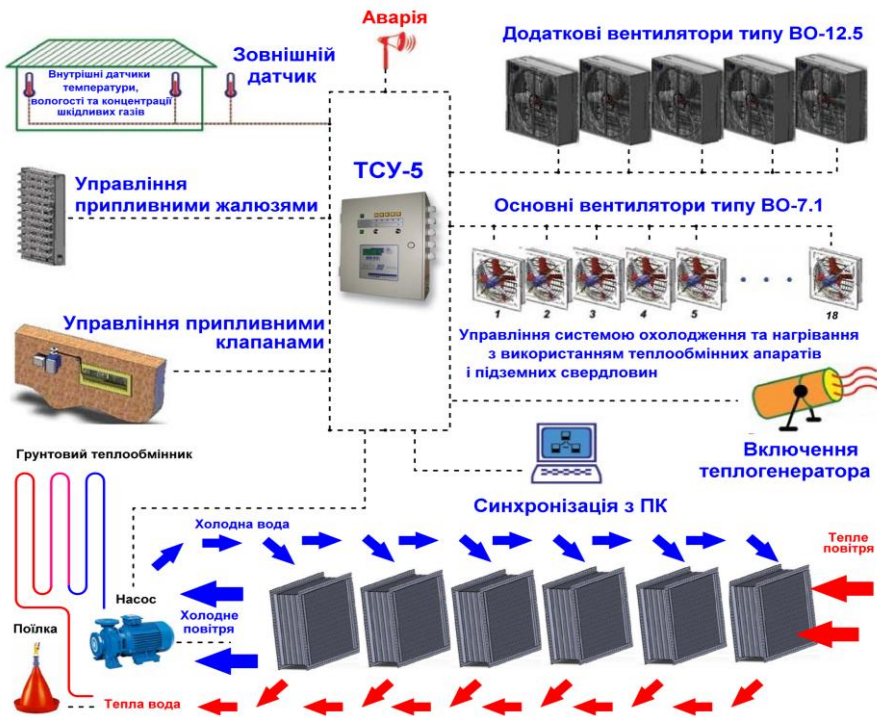


Рис. 2. Загальна схема нової системи підтримання мікроклімату у пташниках з використанням води підземних свердловин і теплообмінників-рекуператорів

яка циркулює в контурі системи теплообмінників-рекуператорів – ґрунтовий теплообмінник – водонапірна башта (рис. 2).

У запропонованій енергоефективній системі підтримання нормованого мікроклімату в птахівничих приміщеннях замінено систему охолодження в літній та часткового нагрівання у зимовий періоди року. Заміна існуючих систем охолодження, що базуються на використанні панелей охолодження («cooling pad») на теплообмінники-рекуператори з використанням води підземних свердловин, дає можливість охолодити припливне повітря в пташнику без підвищення відносної вологості в приміщенні. Структурна та загальна схеми нового електротехнічного комплексу системи підтримання мікроклімату в птахівничих приміщеннях показані на рис. 3.

Для системи автоматизації управління мікрокліматом птахівничого приміщення обрано станцію керування ТСУ5. На структурній схемі (див. рис. 3) показано об'єднання систем автоматики ТСУ-5 на тиристорній основі та комплектного пристрою «Каскад», призначеного для керування й захисту відцентрових свердловинних насосів водопідйому і дренажу із занурювальними електродвигунами, які з'єднані між собою як електричною, так і гідравлічною схемою. Система «Каскад» також може працювати і у звичайному режимі, незалежно від гідравлічної схеми системи мікроклімату.

З метою визначення оптимальної геометрії розміщення вентиляційного та теплообмінного обладнання у птахівничому приміщенні було проведено математичне моделювання аеродинамічних і теплових процесів, що протікають у пташнику.

Електротехнічна система передбачає автоматичне підтримування нормованих температур, вологості та концентрації шкідливих газів за допомогою відповідних датчиків, розміщених в пташнику, комп'ютерного опрацювання інформації та використання частотних перетворювачів для зміни швидкості обертання витяжних вентиляторів та витратних характеристик живильних насосів для перекачки води підземних свердловин. Система передбачає наявність ґрунтового теплообмінника для охолодження (нагрівання) води,

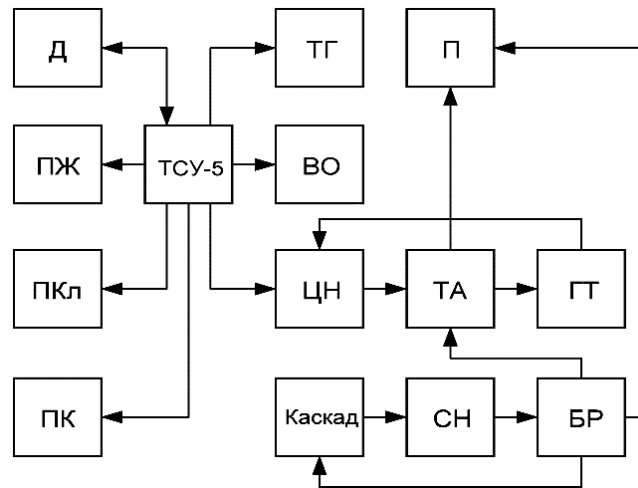


Рис. 3. Структурна схема нового електротехнічного комплексу системи автоматичного керування мікрокліматом у птахівничому приміщенні. ТСУ-5 – тиристорна станція керування; Д – датчики; ПЖ – припливні жалюзі; ПКл – припливні клапани; ТГ – теплогенератори; ПК – персональний комп'ютер; ВО – вентиляційне обладнання; ЦН – циркуляційний насос; ТА – теплообмінні апарати; ГТ – ґрунтовий теплообмінник; Каскад – комплектний пристрій для керування й захисту відцентрових свердловинних насосів; СН – свердловинний насос; БР – башта Рожновського; П – поїлки.

Розроблено математичну модель процесів тепло- і масопереносу вентиляційного повітря в птахівничому приміщенні, використовуючи нестационарні рівняння Нав'є-Стокса, рівняння енергії, рівняння турбулентного переносу та відповідні граничні умови, які мають наступний вигляд.

Рівняння Нав'є-Стокса:

$$\left. \begin{aligned} \rho \left(\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} \right) &= \rho g_x - \frac{\partial p}{\partial x} + \mu \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \right), \\ \rho \left(\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + w \frac{\partial v}{\partial z} \right) &= \rho g_y - \frac{\partial p}{\partial y} + \mu \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial z^2} \right), \\ \rho \left(\frac{\partial w}{\partial t} + u \frac{\partial w}{\partial x} + v \frac{\partial w}{\partial y} + w \frac{\partial w}{\partial z} \right) &= \rho g_z - \frac{\partial p}{\partial z} + \mu \left(\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial z^2} \right), \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

де ρ – густина середовища, кг/м³;

μ – динамічна в'язкість середовища, Па•с;

p – тиск, Па;

u, v, w , – векторне поле швидкостей, м/с;

t – час, с.

Рівняння нерозривності:

$$\frac{\partial \rho}{\partial \tau} + \frac{\partial (u\rho)}{\partial x} + \frac{\partial (v\rho)}{\partial y} + \frac{\partial (w\rho)}{\partial z} = 0, \quad (2)$$

Рівняння збереження енергії:

$$\rho C_p \left(\frac{\partial T}{\partial \tau} + u \frac{\partial T}{\partial x} + v \frac{\partial T}{\partial y} + w \frac{\partial T}{\partial z} \right) = \frac{\partial}{\partial x} \left(\lambda \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\lambda \frac{\partial T}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\lambda \frac{\partial T}{\partial z} \right) + Q(\tau, x, y, z). \quad (3)$$

де T – температура в деякій точці, К⁰;

λ – коефіцієнт теплопровідності середовища, Вт / м • К;

C_p – питома теплоємність середовища, Дж / кг • К.

Задаємо граничні умови на вхідних вентиляційних отворах передньої торцевої стінки:

$$\begin{aligned} y'_{Si} \leq y \leq y''_{Si}; z'_{Si} \leq z \leq z''_{Si}; i = 1, 2, \dots, 6; S_i(y = \pm M/2, x, z); \\ W = W_{вх}; T = T_{зов} \end{aligned} \quad (4)$$

на вхідних вентиляційних отворах бокових стінок:

$$\begin{aligned} x'_{Si} \leq x \leq x''_{Si}; z'_{Si} \leq z \leq z''_{Si}; i = 7, 8, \dots, 10; S_i(y = \pm M/2, x, z); \\ W = W_{вх}; T = T_{зов} \end{aligned} \quad (5)$$

на вихідних вентиляційних отворах, де розташовані вентилятори на задній торцевій стінці:

$$\begin{aligned} y'_{\varphi i}(z) \leq y \leq y''_{\varphi i}(z); z'_{\varphi i}(y) \leq z \leq z''_{\varphi i}(y); i = 1, 2, \dots, 7; \varphi_i(x = L, y, z); \\ W = W_{вих}; \left. \frac{\partial T}{\partial x} \right|_{x=L} = 0. \end{aligned} \quad (6)$$

умови прилипання повітряного теплоносія на передній торцевій стінці:

$$\begin{aligned} -M/2 \leq y \leq M/2; 0 \leq z \leq H + h(y); 0 \leq h(y) \leq h_{\max}; \\ y \notin S_i(x = 0, y, z); i = 1, 2, \dots, 6; W = 0; T = T_{ст}. \end{aligned} \quad (7)$$

умови прилипання на задній торцевій стінці:

$$\begin{aligned} -M/2 \leq y \leq M/2; 0 \leq z \leq H + h(y); 0 \leq h(y) \leq h_{\max}; \\ y \notin \varphi_i(x = L, y, z); i = 1, 2, \dots, 7; W = 0; T = T_{ст}. \end{aligned} \quad (8)$$

умови прилипання на бокових стінках та перекритті:

$$\begin{aligned} y = \pm M/2; 0 \leq x \leq L; 0 \leq z \leq H + h(y); y \notin S_i(y = \pm M/2, x, z); \\ z \notin S_i(y = \pm M/2, x, z); i = 7, 8, \dots, 10; W = 0; T = T_{ст}. \end{aligned} \quad (9)$$

де $S_i(x \leq 0, y, z)$ – функція, яка описує границі вхідних вентиляційних отворів;

$\varphi_i(x = L, y, z)$ – функція, яка описує границі вихідних вентиляційних отворів;

L – довжина бокових стінок пташника, м;

M – ширина передньої та задньої торцевої стінки, м;

H – висота пташника, м;

$h(y)$ – функція висоти покрівлі в перерізі $0y$, м;

$T_{ст}$ – температура стінки, °С;

$T_{зов}$ – зовнішня температура, °С;

$W_{вх}$ – вхідна швидкість повітря в пташник, м/с;

$W_{вих}$ – вихідна швидкість повітря з пташника, м/с.

Модель турбулентності Spalarta-Allmarasa:

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho \tilde{v}) + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho \tilde{v} u_i) = G_v + \frac{1}{\sigma_{\tilde{v}}} \left[\frac{\partial}{\partial x_i} \left\{ (\mu + \rho \tilde{v}) \frac{\partial \tilde{v}}{\partial x_i} \right\} + C_{b2\rho} \left(\frac{\partial \tilde{v}}{\partial x_i} \right)^2 \right] - Y_v + S_{\tilde{v}} \quad (10)$$

де G_v – утворення турбулентної в'язкості;

Y_v – знищення турбулентної в'язкості, що відбувається в пристіночній області через блокування стінки і в'язкого затухання;

$\sigma_{\tilde{v}}$ і C_{b2} – константи;

ν – молекулярна кінематична в'язкість.

У моделі константи C_{b1} , C_{b2} , $\sigma_{\tilde{v}}$, C_{v1} , C_{w1} , C_{w2} , C_{w3} і які мають такі значення:

$$C_{b1} = 0.1355; C_{b2} = 0.622; \sigma_{\bar{v}} = 2/3; C_{v1} = 7.1; k = 0.4187;$$

$$C_{w1} = \frac{C_{b1}}{k^2} + \frac{(1 + C_{b2})}{\sigma_{\bar{v}}}; C_{w2} = 0.3; C_{w3} = 2. \quad (11)$$

Проведено числове математичне моделювання процесів тепло- і масопереносу вентиляційного повітря в птахівничому приміщенні для двох видів вентиляційних систем: а) для існуючої системи вентиляції пташника; б) для запропонованої системи з використанням води підземних свердловин та теплообмінників-рекуператорів для охолодження припливного повітря. Розрахунки виконані за масової витрати зовнішнього повітря 55,2 кг/с, температури повітря на вході в пташник +40 °С з урахуванням зовнішнього теплового випромінювання. Приймалося, що вода, яка надходить із підземних свердловин, має температуру на вході в теплообмінники +7...+10 °С. Приймалося також, що стіни і підлога виконані з керамзит-бетону завтовшки 200 мм. У математичній моделі враховувалося, що в птахівничих приміщеннях знаходиться птиця при підлоговому утриманні, яка є додатковим джерелом теплоти.

Для числових розрахунків використано програмне забезпечення САПР ANSYS Fluent. У результаті числового комп'ютерного моделювання 3D процесів тепло- і масопереносу вентиляційного повітря отримано розподіли температур, тиску і швидкостей припливного повітря в пташнику для системи тунельної вентиляції в літній період. Деякі результати розрахунків для пташників з новою системою охолодження вентиляційного повітря наведено на рис. 4.

На рис. 4 наведено розподіли температур в поперечному перерізі приміщення пташника з використанням теплообмінних апаратів (ТА).

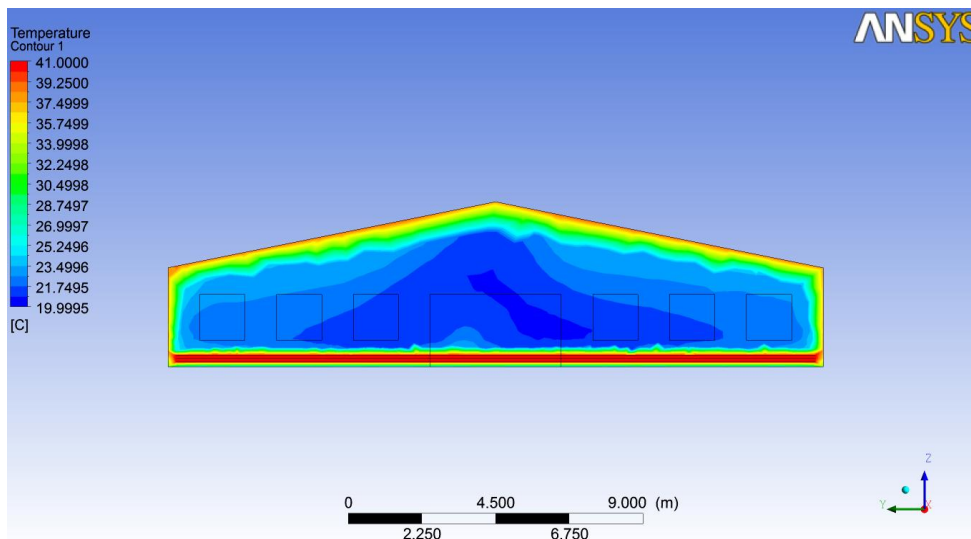


Рис. 4. Температурні поля в приміщенні пташника в поперечному перерізі будівлі по осі Oy на відстані 30 м від входу

Аналіз отриманих числових результатів свідчить, що поле температур у приміщенні пташника має неоднорідний характер, а локальні значення температур коливаються в межах +20...+40 °С. Найвищі значення температур повітря в літній період спостерігаються поблизу стінок у нижній частині пташника, що зумовлено прогрівом стінок за рахунок високої температури зовнішнього середовища, зовнішньої радіації та тепловиділення від птиці в цих областях. Проведені

розрахунки свідчать, що використання нової системи охолодження припливного повітря дає змогу суттєво знизити його температуру без підвищення вологості повітря порівняно з використанням існуючих систем вентиляції.

Під час розрахунків встановлено, що використання води підземних свердловин та системи теплообмінників дає змогу підтримувати температуру припливного повітря після охолодження в теплообмінниках на вході в птахівниче приміщення близько $+20\text{ }^{\circ}\text{C}$ без підвищення відносної вологості повітря. При цьому температура повітря на виході з пташника становить близько $+27\text{ }^{\circ}\text{C}$, що зумовлено виділенням теплоти птахами, які знаходяться в приміщенні. Для таких умов птиця в пташнику при підлоговому її утриманні омивається потоком повітря, температура якого знаходиться в межах норми, що запобігає виникненню теплового стресу у птиці. Було проведено моделювання з розташуванням вентиляторів на висоті 1,1 м, 1,5 та 1,85 м від підлоги до центра осі вентиляторів. Показано, що найбільш оптимальним розташуванням є розміщення вентиляційного обладнання на висоті 1,85 м.

Проведено розрахунок повітрообміну та системи опалення птахоферми в літній і зимовий періоди з використанням і без використання теплообмінних апаратів. Теплообмінники нової конструкції можуть обігрівати припливне повітря пташника в зимовий період з -20 до $+7\text{ }^{\circ}\text{C}$. Отже, використання води підземних свердловин і теплообмінників-рекуператорів для підігріву припливного повітря в зимовий період дає можливість зекономити 250 кВт год теплової енергії.

Запропоновану систему підтримання мікроклімату та схему розміщення вентиляційного й теплообмінного обладнання подано на рис. 5.

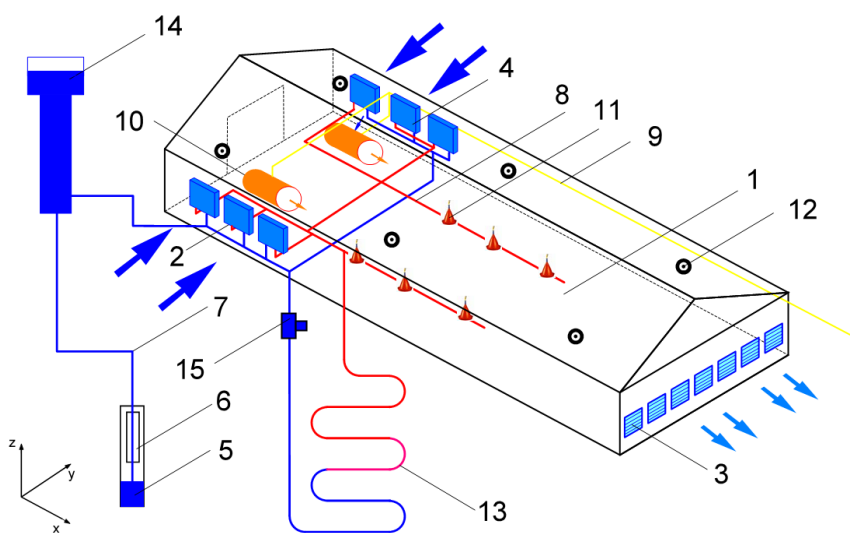


Рис. 5. Розміщення вентиляційного й теплообмінного обладнання для підтримання нормованого мікроклімату пташника: 1 – приміщення пташника; 2 – вентиляційні вікна; 3 – витяжні вентилятори; 4 – теплообмінний апарат; 5 – свердловина; 6 – свердловинний насос; 7 – вхідний трубопровід; 8 – вихідний трубопровід; 9 – газопровід; 10 – теплогенератори; 11 – поїлки; 12 – датчики температури; вологості й концентрація шкідливих викидів; 13 – ґрунтовий теплообмінник; 14 – водонапірна башта; 15 – циркуляційний насос.

Таким чином, задля нормалізації температурних параметрів у пташниках в літній період запропоновано використовувати теплообмінники-рекуператори, що вмонтовані у притяжні вентиляційні вікна, які забезпечують охолодження припливного повітря за рахунок води з підземних свердловин (див. рис. 3). Використання такого електротехнічного комплексу дає можливість скоротити кількість вентиляторів із 7 до 3 шт., що знижує споживання електроенергії в 2,3 рази, а взимку зменшити витрати природного газу від 2 до 3,1 рази, а електроенергії від 1,7 до 2,9 рази.

Проведені дослідження з розроблення електротехнічного комплексу в пташнику дають можливість побудови алгоритмів керування за допомогою графічних залежностей. Використовуючи воду підземних свердловин для охолодження припливного повітря у птахівничому приміщенні за допомогою теплообмінників-рекуператорів в літній і зимовий періоди року побудовано графіки витрати води, яка циркулює в системі за допомогою циркуляційного насоса, в залежності від зовнішньої температури повітря (рис. 6). Залежно від витрат води, за допомогою магнітних клапанів, будуть вводиться в дію теплообмінні апарати в автономному режимі. При температурі +23 °С необхідно використовувати три теплообмінні апарати з витратою води 2,5 м³/год., а від +35 °С до +40 °С – шість теплообмінників з витратою води від 57 до 108 м³/год.

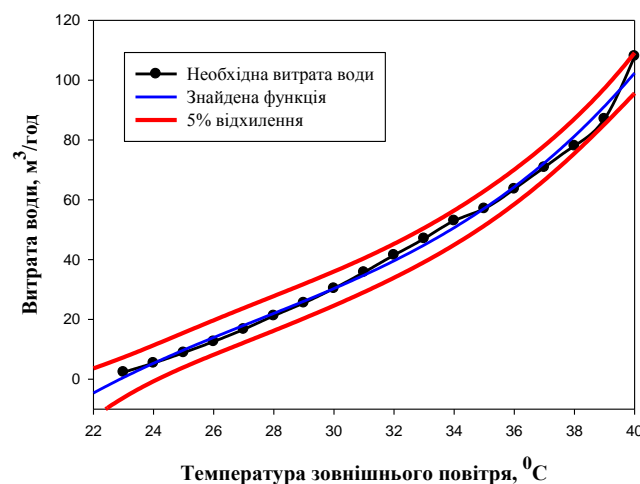


Рис. 6. Витрата води, яка необхідна для охолодження припливного повітря в пташнику у літній період року в залежності від зовнішньої температури повітря

Знайдено апроксимаційну залежність (12), яка описує необхідну витрату води для охолодження припливного повітря в літній період року до температури зовнішнього повітря з похибкою апроксимації 5 %:

$$f(x) = -424,4918 + 40,5809 \cdot x - 1,3338 \cdot x^2 + 0,01613 \cdot x^3 \quad (12)$$

де, $x = 23, 24 \dots 40$ – температура зовнішнього повітря, °С.

Проведено розрахунки та розроблено нову систему електротехнічного комплексу для підтримання мікроклімату в пташниках. Проведено математичне моделювання процесів тепло- і масообміну в приміщенні пташника для підтримання необхідного мікроклімату у літній та зимовий період за допомогою програмного середовища MATLAB Simulink. Знайдено, що необхідний повітрообмін та температурний режим у пташнику в зимовий час стабілізується впродовж

4500–5000 секунд. Відносна вологість повітря при цьому не перевищує 70 %. У літній період параметри системи мікроклімату стабілізуються за період часу від 2000 до 5000 секунд. Відносна вологість при цьому становить 60 %.

У третьому розділі «**Моделювання процесів тепло- масообміну в теплообмінних апаратах нової конструкції для охолодження припливного повітря водою підземних свердловин**» запропоновано та розроблено нову конструкцію кожухотрубного теплообмінного апарата з компактним розташуванням труб у трубних пучках для охолодження та нагрівання повітря у пташнику в літній і зимовий періоди. Нова конструкція теплообмінного апарата передбачає, що теплообмінник має кожух прямокутного поперечного перерізу, а трубний пучок має три секції та компакту конфігурацію розміщення труб, при якій сусідні труби, на відміну від коридорного або шахового розташування, дотикаються між собою, причому кожна наступна труба зміщена в поперечному напрямку відносно потоку на відстань, яка не перевищує половини діаметра труби (рис. 7). Вода з підземних свердловин протікає всередині труб, а повітря поперечно обтікає трубний пучок. Схема руху теплоносіїв – перехресний тік із трьома ходами для водяного теплоносія.

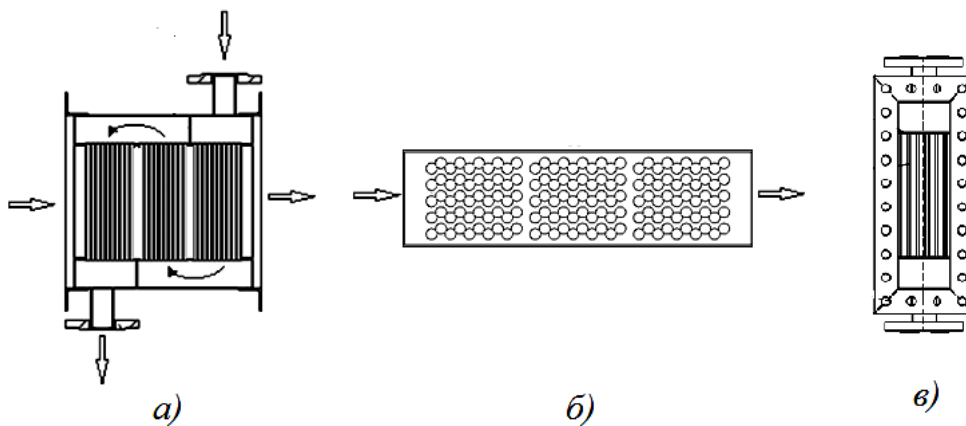


Рис. 7. Загальна схема кожухотрубного теплообмінника з компактним розміщенням трубного пучка: *а* – вигляд збоку; *б* – вигляд зверху; *в* – вигляд з торця.

Розроблено математичну модель процесів тепло- і масопереносу в теплообмінному апараті нової конструкції, що базується на використанні рівнянь Нав'є-Стокса, рівняння енергії, рівнянь турбулентного переносу (див. рівняння (1)–(5)) та відповідних граничних умов. Для числового розрахунку зазначених рівнянь використано пакет прикладних програм ANSYS Fluent.

Розрахунки проведені при наступних значеннях теплофізичних та геометричних параметрів. Ширина і висота кожуха, відповідно, 85 мм і 200 мм. Масова витрата повітря на вході в теплообмінний апарат становить 0,25 кг/с із початковою температурою $T_0=+40$ °С; висота труб – 200 мм, їх зовнішній діаметр – 10 мм; ширина міжтрубного каналу для всіх конфігурацій пучка вибиралася такою, що дорівнює 5 мм; витрата води становила 1,25 кг/с, а її температура на вході в теплообмінник $T_{вх}=+10$ °С. Повздовжні розміри теплообмінника визначені за результатами розрахунків за умови, що температура повітря на виході з теплообмінника повинна становити близько $T_{вих}=+20$ °С.

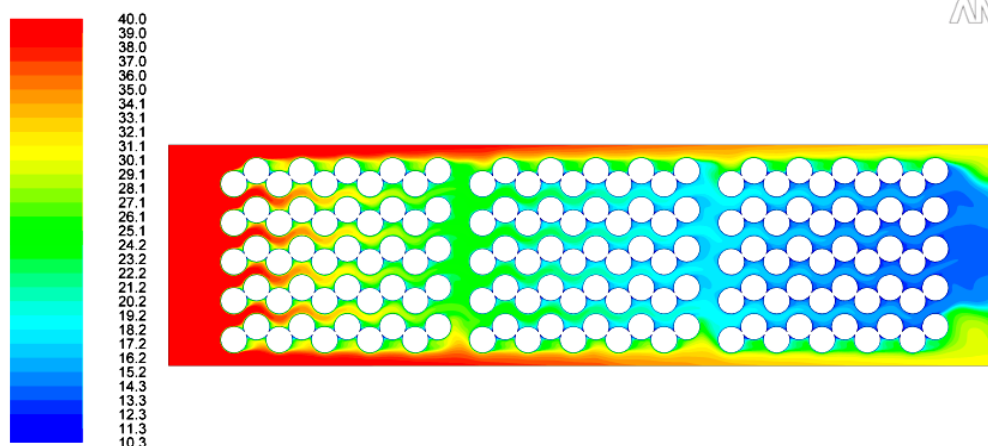


Рис. 8. Розподіл температур у каналі компактного пучка, °С

У результаті числового розрахунку отримано поля швидкостей, температур і тисків у каналах теплообмінника. Деякі результати розрахунку подано на рис. 8–9. На рис. 8 наведено розподіл температурного поля в каналах теплообмінника. Як видно з рисунка, температура припливного повітря падає у міру наближення до виходу з теплообмінника від +40 °С на вході до значень близьких до +20 °С на виході з теплообмінника. Разом з тим, поблизу стінок каналу локальні значення температури становлять близько +30 °С, тобто відстань між крайніми рядами труб і стінкою кожуха потрібно вибирати мінімальну.

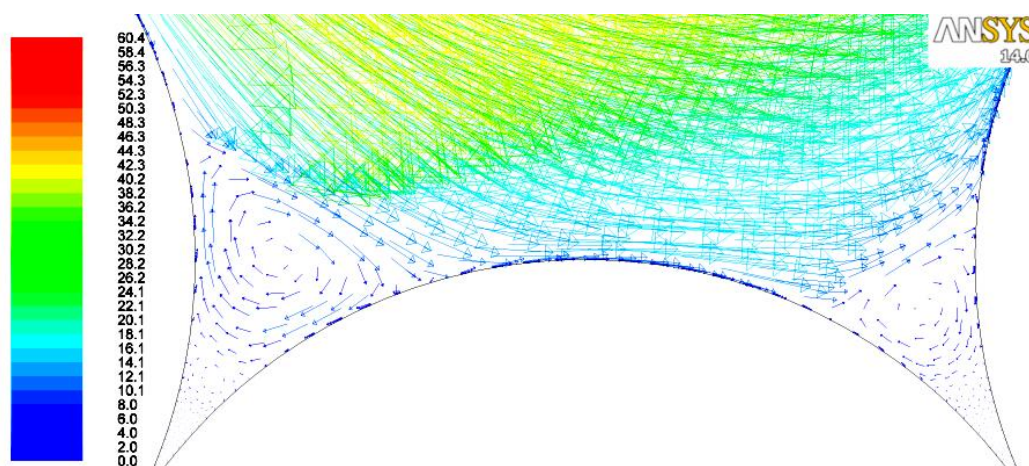


Рис. 9. Вектор швидкості в елементі каналу компактного пучка, м/с

На рис. 9 показано розподіл векторів швидкості в окремому елементі пучка труб. Біля верхньої точки труби відбувається відрив межового шару, а на стику сусідніх труб виникають застійні зони, в яких спостерігаються два відривних вихори, де швидкість потоку суттєво менша, ніж в основному потоці.

Аналогічні розрахунки проведено для відомої конструкції кожухотрубного теплообмінника із шаховим розташуванням труб (з повздовжнім та поперечним кроком труб 15×15 мм). Порівняння параметрів традиційного та запропонованого теплообмінника подано в табл. 1. Як витікає з порівняння, нова конструкція теплообмінника, за практично однакової теплової потужності, має у 1,9 рази менші повздовжні розміри та на 10 % меншу масу.

Порівняння параметрів теплообмінних апаратів із шаховим та компактним розташуванням труб

Основний параметр теплообмінника	Традиційний теплообмінник	Запропонований теплообмінник
Кількість теплоти, переданої від повітря до води, кВт	5,20	5,00
Температура повітря на вході з теплообмінника, °С	40,0	40,0
Температура повітря на виході з теплообмінника, °С	19,3	20,1
Масова витрата повітря, кг/с	0,25	0,25
Коефіцієнт тепловіддачі для повітря, Вт/м ² ·°С	314	306
Перепад тисків на вході та виході теплообмінника, кПа	3,80	7,00
Довжина теплообмінника, м	0,530	0,278
Висота трубного пучка, м	0,20	0,20
Кількість труб, шт.	150	150
Маса теплообмінника, кг	16,6	15,2

У четвертому розділі «Експериментальне дослідження енергоефективної системи підтримання мікроклімату в пташниках з використанням води підземних свердловин» проведено експериментальні дослідження для системи охолодження припливного повітря водою підземних свердловин. Загальний вигляд і схема експериментальної установки подані на рис. 10 і 11. Як робоче середовище використовувалося підігріте повітря, яке охолоджувалося водою.

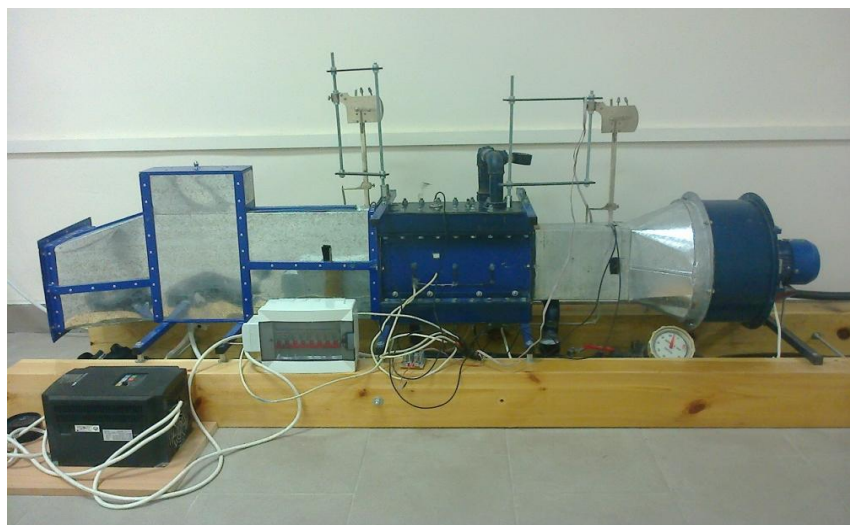


Рис. 10. Загальний вигляд експериментального модернізованого електротехнічного комплексу

Експериментальна установка працює таким чином. Зовнішнє припливне повітря надходить в установку за допомогою відцентрового вентилятора 1 В006-300№3,15. Повітря підігрівається ТЕНами 2, тепла потужність яких регулюється за допомогою двоканального виконавчого пристрою 12 (термостата) МР2211. Кількість обертів електродвигуна вентилятора (АІР63А2У2) та масова витрата повітря регулювалися

за допомогою частотного перетворювача 11 типу 3GJX-A4075-TF.

Нагріте повітря надходить у міжтрубний простір теплообмінного апарата 3, де відбувається його охолодження водою, яка протікає всередині труб. Регулювання масової витрати води забезпечувалося циркуляційним насосом 5 марки SPRUT 25-8S та вентилями 7. На вході та виході теплообмінного апарата встановлені трубки Піто-Прандтля 8 з манометрами для визначення статичного та динамічного тисків, а також анемометр 13 типу JT-816 для визначення швидкості потоку повітря. Після протікання води через колектори та секції трубного пучка її температура поступово підвищується і вона надходить у витратомір 9. Для

вимірювання температури повітря, температури поверхні труб та стінок кожуха теплообмінника використовувалися датчики температури 6 марки DS18B20.

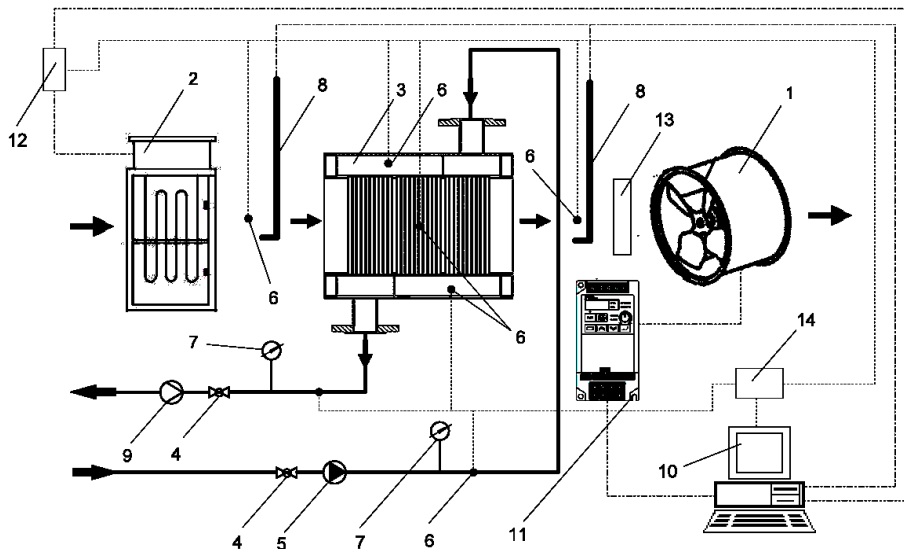


Рис. 11. Теплогідравлічна схема експериментальної установки: 1 – вентилятор, 2 – ТЕНи, 3 – теплообмінник-рекуператор, 4 – вентиль, 5 – циркуляційний насос, 6 – накладні датчики температури, 7 – манометр, 8 – трубка Піто-Прандтля, 9 – витратомір, 10 – персональний комп'ютер, 11 – частотний перетворювач, 12 – виконавчий механізм, 13 – анемометр, 14 – цифровий термометр.

Схему розташування датчиків температури наведено на рис. 12. До того ж, проводилися вимірювання температури води на вході й виході з водяного тракту та в його колекторах відповідними датчиками. Показники температур із датчиків знімалися за допомогою цифрового USB термометра 14 типу MP707 та виводилися на дисплей комп'ютерного монітора.

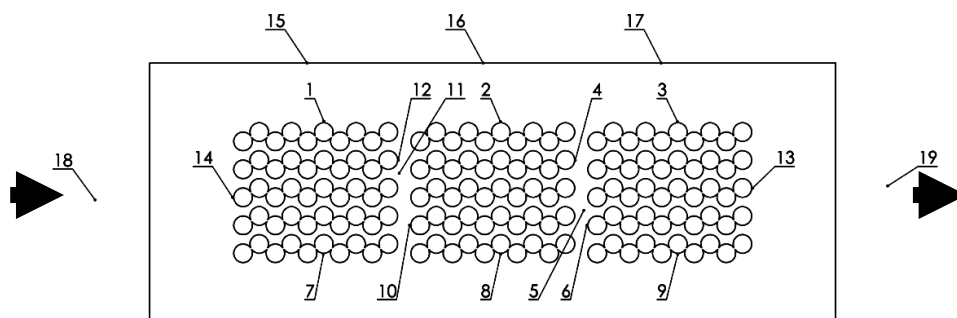


Рис. 12. Розташування датчиків температури в повітряному тракті, на поверхні трубного пучка та стінках теплообмінного апарата.

Електрична схема експериментальної установки наведена на рис. 13.

Живлення для електродвигуна вентилятора M2 надходить із мережі 380 В через автоматичний вимикач QF1 та частотний перетворювач ЧП, призначений для регулювання частоти обертів вала. Циркуляційний насос M1 живиться з мережі 220 В, і включається автоматичним вимикачем QF2. ТЕНи R1...3 підключаються через QF3-5 та котушки реле Rel1-3, які, у свою чергу, включаються за допомогою виконавчого пристрою (термостата) MP2211 відносно показів датчика температури DS1, який знаходиться на вході, по напрямку потоку в установку. Покази

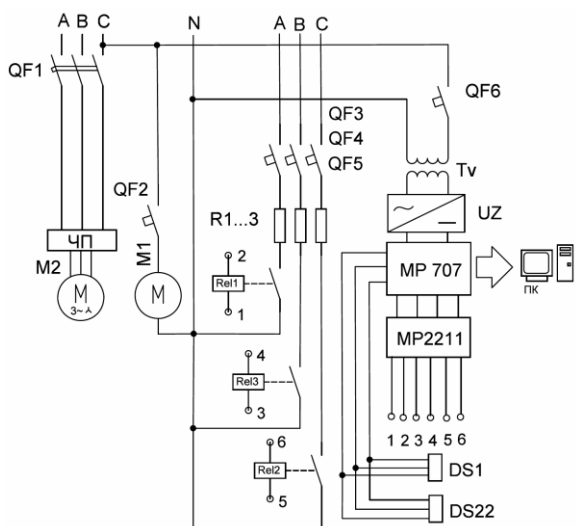


Рис. 13. Принципова електрична схема експериментальної установки

температури з датчиків DS1-22 знімаються за допомогою цифрового USB термометра MP707. Усі результати вимірів виводяться на монітор персонального комп'ютера ПК у графічному і табличному вигляді. Живлення надходить з мережі 220 В через QF6, понижуючий трансформатор T_v та випрямляч UZ.

При проведенні експериментального дослідження, повітря надходило в установку й підігрівалося за допомогою ТЕНів до температур +27, +41 °С, із вхідною швидкістю 9,25 м/с, 11,1 та 12,85 м/с. Одночасно в теплообмінний апарат для охолодження припливного повітря, надходила вода з температурою в межах від +12 до +13 °С із

витратою 40 л/хв, 45 та 50 л/хв.

У результаті опрацювання результатів вимірювань отримано графічні залежності, які представлені на рис. 14–17.

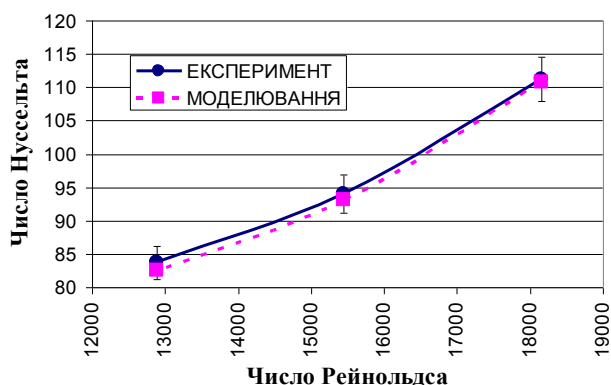


Рис. 14. Залежність числа Нуссельта від числа Рейнольдса для повітряного теплоносія

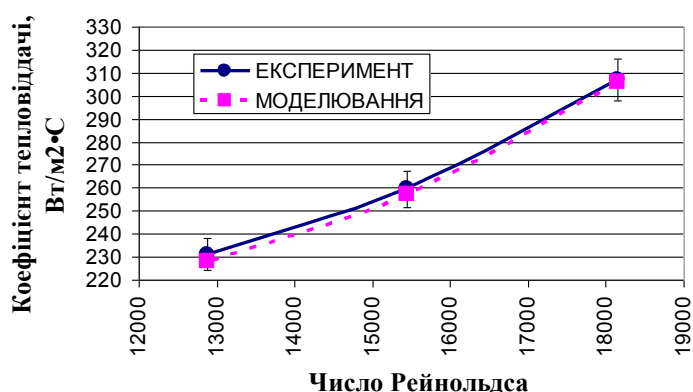


Рис. 15. Залежність коефіцієнта тепловіддачі від числа Рейнольдса для повітряного теплоносія

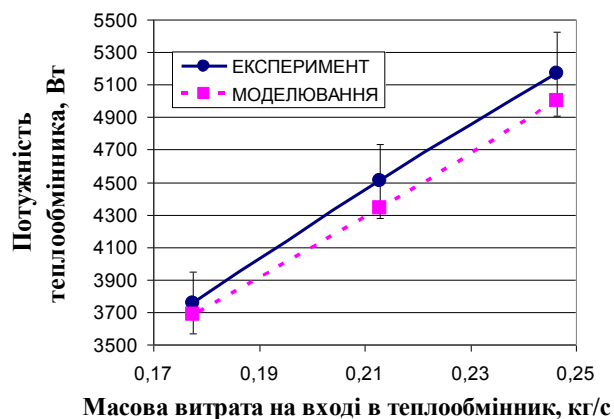


Рис. 16. Залежність кількості переданої теплоти від масової витрати води

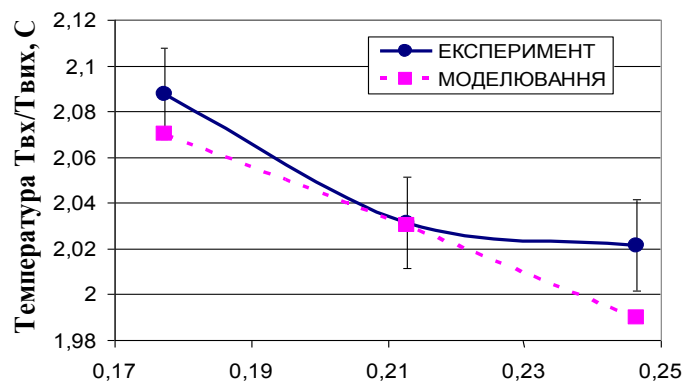


Рис. 17. Залежність безрозмірної температури повітря від масової витрати води

На рис. 14, 15 показано залежність числа Нуссельта та усередненого по поверхні коефіцієнта тепловіддачі від числа Рейнольдса для повітряного теплоносія. Як видно з рис. 14 та 15, значення числа Нуссельта й коефіцієнта тепловіддачі зростає при збільшенні числа Рейнольдса, причому значення коефіцієнта тепловіддачі може досягати $310 \text{ Вт/м}^2\text{К}$.

На рис. 16 наведено графічну залежність кількості теплоти, яка передана від повітря до води, від масової витрати води. Таким чином, з отриманої залежності можна визначити сумарну теплоту, яка передається від гарячого теплоносія до холодного, залежно від масової витрати води.

Графічна залежність значень температури на виході з каналу, представлена у безрозмірному вигляді, від масової витрати повітря наведені на рис. 17. На рисунках 14–17 наведено також результати, отримані при числовому моделюванні які відображені в розділі 3. Зіставлення показує, що похибка результатів числового моделювання не перевищує 5 %. Як впливає з рис. 17, є деякі відхилення температур, отриманих експериментальним та числовим шляхом, для великих значень витрати повітряного теплоносія, але при цьому максимальна похибка обчислень не перевищує 6 %.

Використання графічного інтерфейсу гібридних нейронних мереж у пакеті прикладних програм ANFIS Editor (Fuzzy Logic Toolbox) системи MatLAB створюємо ANFIS-моделі забезпечення необхідної витрати води в теплообмінному апараті для забезпечення необхідного охолодження припливного повітря у пташниках.

Початок розроблення моделі ANFIS залежності зовнішньої температури повітря від витрат повітря, необхідного для забезпечення нормованого мікроклімату пташника та витрат води для охолодження припливного повітря. У результаті отримано середньоквадратичне відхилення 6,5753. Задавши вхідними контрольну

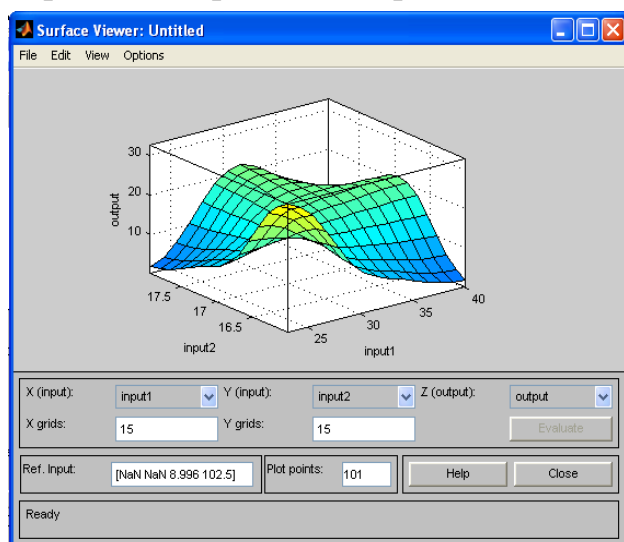


Рис. 18. Графічна залежність зовнішньої температури повітря від температури повітря в приміщенні, $^{\circ}\text{C}$, та витрат води, необхідної для охолодження припливного повітря в приміщення пташника, $\text{м}^3/\text{год}$

вибірку даних – Cheking data, оцінимо якість роботи гібридної нейронної мережі.

Проаналізувавши отриману гібридну мережу, можемо справедливо констатувати її адекватність. Налаштування параметрів нейромережі системи на регулювання витрат води здійснювалося за допомогою інтеграційного навчання системи на вибірку вихідних експериментальних даних. Діапазон коливань (рис. 18), які відповідають технічному процесу – коливання температури зовнішнього повітря в межах від $+23$ до $+40 \text{ }^{\circ}\text{C}$, температури внутрішнього повітря – $+16\dots+18 \text{ }^{\circ}\text{C}$ та витрат води, необхідної для охолодження припливного повітря в пташнику від 2 до $108 \text{ м}^3/\text{год}$.

Навчена ANFIS забезпечує необхідну точність визначення коефіцієнта витрат

води та може бути використана для керування модернізованим електротехнічним комплексом системи мікроклімату пташника.

Техніко-економічний розрахунок свідчить, що використання нової системи підтримання нормованого мікроклімату в пташниках із використанням низькопотенціальної енергії води підземних свердловин та теплообмінників-рекуператорів для охолодження припливного повітря, є економічно вигідним. Розрахунки показують, що споживання газу на обігрів повітря в зимовий період зменшується в 3,17 раза. Запропоноване обладнання має термін окупності – при використанні газу 1,4 роки.

ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі вирішено важливу науково-технічну задачу, яка полягає в розробленні режимів та методів енергоефективного керування електротехнічним комплексом, який базується на використанні низькопотенціальної енергії води підземних свердловин для підтримання мікроклімату в пташниках, що дало змогу суттєво скоротити витрати енергоресурсів.

За результатами теоретичних та експериментальних досліджень можна зробити такі висновки:

1. Аналіз електротехнічних комплексів для підтримання мікроклімату, що традиційно використовуються в птахівничих приміщеннях, свідчить про їх недоліки – функціонування комплексів супроводжується значними енергетичними витратами електричної енергії та природного газу. Водночас, технічні засоби і системи, режими їх керування, що використовуються, не забезпечують вимоги технологів щодо параметрів мікроклімату в пташниках (температура, відносна вологість, концентрація шкідливих газів). Зазначене знижує продуктивність поголів'я птиці на 10–15 % та економічні показники підприємства в цілому.

2. За результатами теоретичних досліджень процесів гідродинаміки і тепломасообміну запропоновано внести зміни в структуру електротехнічного комплексу та розташування його складових в пташниках із використанням низькопотенціальної енергії води підземних свердловин, що дає змогу скоротити кількість вентиляційного обладнання у пташниках на 57 %, забезпечуючи при цьому необхідні параметри мікроклімату.

3. Для підвищення енергоефективності електротехнічного комплексу запропоновано нову конструкцію кожухотрубного теплообмінника-рекуператора з компактним розміщенням труб у трубному пучку, де сусідні труби зміщуються одна відносно одної, що дало змогу зменшити габарити його конструкції, порівняно з відомими аналогами, в 1,9 раза, а масу – на 10 %.

4. Проведено математичне моделювання процесів гідродинаміки та теплопереносу в теплообмінниках нової конструкції, визначено їх ефективність та основні закономірності теплообміну, що дало змогу визначити оптимальну геометрію розташування труб у пучку.

5. Розроблено експериментальну установку та проведено експериментальні дослідження електротехнічного комплексу для підтримання нормованого мікроклімату при охолодженні та нагріванні припливного повітря із застосуванням

теплообмінників-рекуператорів, де як охолоджувач використовується вода підземних свердловин. Отримані результати дали змогу розробити режими керування електротехнічним комплексом пташника та скоротити енерговитрати в 2,3 рази, використовуючи нечіткі нейромережі.

6. Техніко-економічний розрахунок свідчить, що варіант використання енергоефективного керування режимами електротехнічного комплексу з використанням теплообмінників-рекуператорів та води підземних свердловин для підтримання нормованого мікроклімату в пташниках є економічно вигідним, оскільки при цьому споживання газу зменшується в 3,17 рази, а запропоноване обладнання має строк окупності 1,4 роки.

7. Отримані в роботі наукові результати можуть бути використані при розробленні нових електротехнічних комплексів для підтримання нормованого мікроклімату в птахівничих приміщеннях, що дає змогу економити до 250 кВт год теплової енергії та зменшити в 2,3 рази споживання електроенергії. Розроблена система знайшла застосування на виробництві ВАТ «АК Південтрансенерго», що підтверджується актами впровадження.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Статті у наукових фахових виданнях України

1. Горобець В. Г., Троханяк В. І. Математичне моделювання процесів гідродинаміки і теплообміну в охолоджувачах повітря птахівничих приміщень // Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія «Техніка та енергетика АПК». 2013. Вип. 184, Ч. 2. С. 101–110. *(Здобувач брав участь у проведенні досліджень, аналізі їх результатів і написанні статті).*

2. Горобець В. Г., Троханяк В. І. Комп'ютерне математичне моделювання процесів тепло- і масопереносу при вентиляції повітря в птахівничих приміщеннях: [електронний ресурс] // Науковий вісник Таврійського державного агротехнологічного університету. 2015. Режим доступу до ресурсу: <http://nauka.tsatu.edu.ua/e-journals-tdatu/pdf5t1/24.pdf>. *(Здобувач брав участь у проведенні досліджень, аналізі їх результатів і написанні статті).*

Статті у наукових фахових виданнях України, включених до міжнародної наукометричної бази даних:

3. Горобець В. Г., Троханяк В. І. Моделювання процесів переносу та теплогідравлічна ефективність кожухотрубного теплообмінника з компактним розташуванням пучків труб // Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія «Техніка та енергетика АПК». 2014. Вип. 194, Ч. 2. С. 147–155. *(Здобувач брав участь у проведенні досліджень, аналізі їх результатів і написанні статті).*

4. Горобець В. Г., Панин В. В., Богдан Ю. А., Троханяк В. І. Влияние геометрии компактного поперечно обтекаемого гладкотрубного пучка на его показатели // Водний транспорт. 2015. № 1. С. 6–13. *(Здобувач брав участь у проведенні досліджень, аналізі їх результатів і написанні статті).*

5. Горобець В. Г., Троханяк В. І. Чисельне моделювання процесів переносу при поперечному обтіканні компактних пучків труб у кожухотрубних теплообмінниках // Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія «Техніка та енергетика АПК». 2015. Вип. 209, Ч. 1. С. 42–49. *(Здобувач брав участь у проведенні досліджень, аналізі їх результатів і написанні статті).*

6. Троханяк В. І. Визначення коефіцієнта тепловіддачі при чисельному моделюванні трубного пучка // Праці Таврійського державного агротехнологічного університету. 2015. Вип. 15, Т. 2. С. 332–337.

7. Троханяк В. І. Побудова сітки ANSYS Meshing для CFD моделей методом кінцевих елементів // Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія «Техніка та енергетика АПК». Вип. 209, Ч. 2. С. 244–249.

8. Троханяк В. І., Богдан Ю. О. Застосування методу кінцевих елементів при побудові сітки в Ansys Meshing для CFD моделей // Вісник Приазовського державного технічного університету. Серія «Технічні науки» 2015. Вип. 30, Т. 2. С. 181–189. *(Здобувач брав участь у проведенні досліджень, аналізі їх результатів і написанні статті).*

9. Горобець В. Г., Троханяк В. І., Богдан Ю. О. Експериментальне дослідження охолодження припливного повітря у птахівничих приміщеннях // Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія «Техніка та енергетика АПК». 2015. Вип. 224. С. 204–208. *(Здобувач брав участь у проведенні досліджень, аналізі їх результатів і написанні статті).*

10. Троханяк В. І., Горобець В. Г. Математичне моделювання теплообмінного апарата з шаховим та компактным розташуванням труб в трубному пучку // Праці Таврійського державного агротехнологічного університету. 2015. Вип. 15, Т. 4. С. 142–149. *(Здобувач брав участь у проведенні досліджень, аналізі їх результатів і написанні статті).*

11. Горобець В. Г., Троханяк В. І. Експериментальне дослідження теплообмінного апарата нової конструкції: [електронний ресурс] // Енергетика і автоматика. 2015. Режим доступу до ресурсу: <http://journals.nubip.edu.ua/index.php/Energiya/article/viewFile/5247/5160>. *(Здобувач брав участь у проведенні досліджень, аналізі їх результатів і написанні статті).*

Статті у наукових виданнях інших держав:

12. Горобець В. Г., Троханяк В. І. Компьютерное математическое моделирование процессов тепло- и массопереноса при вентиляции воздуха в птицеводческих помещениях // Вестник Всероссийского научно-исследовательского института электрификации сельского хозяйства. 2015. № 4 (20). С. 85–90. *(Здобувач брав участь у проведенні досліджень, аналізі їх результатів і написанні статті).*

13. Троханяк В. І., Богдан Ю. А. Оценка теплогидравлической эффективности кожухотрубного теплообменного аппарата с компактным размещением труб в пучках на основе компьютерного численного моделирования процессов тепломассопереноса: [електронний ресурс] // APRIORI. Серія «Естественные и технические науки». 2015. № 6. Режим доступа к ресурсу:

<http://apriori-journal.ru/seria2/6-2015/Trohanyak-Bogdan2.pdf>. (Здобувач брав участь у проведенні досліджень, аналізі їх результатів і написанні статті).

14. **Троханяк В. И.**, Богдан Ю. А. Теплогидравлическая эффективность кожухотрубного теплообменника с компактным размещением пучков труб [электронный ресурс] // APRIORI. Серия «Естественные и технические науки». 2015. № 6. Режим доступа к ресурсу: <http://apriori-journal.ru/seria2/6-2015/Trohanyak-Bogdan1.pdf>. (Здобувач брав участь у проведенні досліджень, аналізі їх результатів і написанні статті).

15. **Троханяк В. И.**, Богдан Ю. А. Численное моделирование процессов тепло-массопереноса для кожухотрубного теплообменника с компактным размещением пучков труб: [электронный ресурс] // APRIORI. Серия «Естественные и технические науки». 2015. № 6. Режим доступа к ресурсу: <http://apriori-journal.ru/seria2/6-2015/Trohanyak-Bogdan.pdf>. (Здобувач брав участь у проведенні досліджень, аналізі їх результатів і написанні статті).

Патенти України на винахід:

16. Патент 111627 UA, МПК (2006.01) F28D 7/16, F28F 1/12. Теплообмінник-утилізатор відпрацьованих газів / Горобець В. Г., Богдан Ю. О., **Троханяк В. І.**; заявник і власник Горобець В. Г., Богдан Ю. О., Троханяк В. І. № а201404151; заявлено 17.04.2014; опубліковано 25.05.2016; Бюл. № 10/2016.

17. Патент 111751 UA, МПК (2006.01) F28D 7/16. Теплообмінний апарат / Горобець В. Г., **Троханяк В. І.**, Богдан Ю. О.; заявник і власник Горобець В. Г., Троханяк В. І., Богдан Ю. О. № а201404152; заявлено 17.04.2014; опубліковано 10.06.2016, Бюл. № 11/2016.

Тези наукових доповідей:

18. Горобець В. Г., **Троханяк В. І.** Процеси тепло- і масообміну в пташнику із застосуванням системи тунельної вентиляції // Актуальні проблеми наук про життя та природокористування: II Міжнародна науково-практична конференція молодих вчених, м. Київ, 16–18 жовтня 2013 року: тези доповіді. К., 2013. С. 175–176.

19. Троханяк В. І. Розробка нової конструкції теплообмінника для охолодження вентиляваного повітря // Відновлювальна енергетика, новітні автоматизовані електротехнології в біотехнічних системах АПК: Міжнародна науково-технічна конференція молодих вчених, м. Київ, 6–7 листопада 2013 року: тези доповіді. К., 2013. С. 51.

20. Горобець В. Г., Богдан Ю. А., **Троханяк В. И.** Математическое моделирование и экспериментальное исследование процессов гидродинамики и теплопереноса в теплообменниках с компактными трубными пучками // Теплотехника и энергетика в металлургии: XVII Міжнародна конференція, м. Дніпропетровськ, 7–9 жовтня 2014 року: тези доповіді. Дніпропетровськ, 2014. С. 67–68.

21. Троханяк В. І. Комп'ютерне математичне моделювання процесів масопереносу і теплообміну вентиляції повітря в птахівничих приміщеннях // Відновлювальна енергетика, новітні автоматизовані електротехнології в

біотехнічних системах АПК: II Міжнародна науково-практична конференція молодих вчених, м. Київ, 16–17 жовтня 2014 року: тези доповіді. К., 2014. С. 46–47.

22. Горобець В. Г., Богдан Ю. А., Троханяк В. И. Компьютерное моделирование компактных поперечно-обтекаемых гладкотрубных пучков // Проблеми енергоресурсозбереження в промисловому регіоні: Всеукраїнська науково-практична конференція молодих вчених, спеціалістів, аспірантів, м. Маріуполь, 20–24 квітня 2015 року: тези доповіді. Маріуполь, 2015. С. 60.

23. Троханяк В. І. Чисельне моделювання процесів переносу при поперечному обтіканні компактних пучків труб в кожухотрубних теплообмінниках // Енергозабезпечення, електротехнології, електротехніка та інтелектуальні управляючі системи в АПК: 69-та науково-практична конференція студентів, м. Київ, 22–23 квітня 2015 року: тези доповіді. К., 2015. С. 108.

24. Троханяк В. І. Визначення коефіцієнта тепловіддачі при чисельному моделюванні трубного пучка // Енергозабезпечення технологічних процесів в агропромисловому комплексі України: Міжнародна науково-технічна конференція пам'яті І. І. Мартиненка, м. Мелітополь, 10–14 червня 2015 року: тези доповіді. Мелітополь, 2015. С. 79–80.

25. Троханяк В. І., Горобець В. Г., Богдан Ю. А. Експериментальне дослідження охолодження припливного повітря для підтримання оптимального мікроклімату в пташнику // Актуальні проблеми наук про життя та природокористування: III Міжнародна науково-практична конференція молодих вчених, м. Київ, 28–31 жовтня 2015 року: тези доповіді. К., 2015. С. 252–254.

26. Горобець В. Г., Троханяк В. І., Круковський П. Г. Чисельне моделювання процесів тепло- і масопереносу та оптимальне розміщення вентиляційного обладнання в пташнику // Проблеми та перспективи розвитку енергетики, електротехнологій та автоматики в АПК: III Міжнародна науково-практична конференція, м. Київ, 17–18 грудня 2015 року: тези доповіді. С. 93–94.

27. Горобець В. Г., Панин В. В., Богдан Ю. А., Троханяк В. И. Экспериментальное исследование процессов гидродинамики и теплообмена в теплообменных аппаратах новой конструкции // Сучасні енергетичні установки на транспорті і технології та обладнання для їх обслуговування: 6-та Міжнародна науково-практична конференція, м. Херсон, 24–25 вересня 2015 року: тези доповіді. Херсон, 2015. С. 127–128.

АНОТАЦІЯ

Троханяк В. І. Енергоефективна система підтримання мікроклімату в птахівничих приміщеннях. – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук зі спеціальності 05.09.03 «Електротехнічні комплекси та системи». – Національний університет біоресурсів і природокористування України, Київ, 2017.

Дисертацію присвячено розв'язанню науково-прикладного завдання, яке полягає в удосконаленні електротехнічного комплексу для підтримання нормованого мікроклімату в птахівничому приміщенні із застосуванням води

підземних свердловин і теплообмінників-рекуператорів для охолодження і нагрівання припливного повітря.

На основі проведених теоретичних та експериментальних досліджень запропоновано та розроблено нову електротехнічну систему підтримання мікроклімату в пташнику, яка базується на використанні води підземних свердловин із застосуванням теплообмінників-рекуператорів для охолодження та нагрівання припливного повітря в літній і зимовий періоди.

Проведено порівняння результатів числового розрахунку та експериментальних даних щодо тепловіддачі трубного пучка за допомогою статистичного аналізу. Отримана похибка не перевищує 6 %.

Ключові слова: електротехнічна система, мікроклімат, теплообмінник-рекуператор, підземні свердловини, експериментальна установка.

АННОТАЦІЯ

Троханяк В. И. Энергоэффективная система поддержания микроклимата в птицеводческих помещениях. – На правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.09.03 «Электротехнические комплексы и системы». – Национальный университет биоресурсов и природопользования Украины, Киев, 2017.

Диссертация посвящена решению научно-прикладного задания, которое заключается в совершенствовании электротехнического комплекса для поддержания нормированного микроклимата в птицеводческом помещении с применением воды подземных скважин и теплообменников-рекуператоров для охлаждения и нагрева приточного воздуха.

Рассмотрены различные способы обработки воздуха в птичниках, имеющиеся системы автоматизации и методы управления вентиляционно-отопительным оборудованием для поддержания оптимального воздухообмена в птичниках.

Для системы автоматического управления электротехническим комплексом птичнике и создания микроклимата выбрана станция управления ТСУ5. Обоснованы возможности управления и технические характеристики, описана функциональная схема и схемы систем регулирования и сигнализации в электротехническом комплексе.

Предложенная электротехническая система дает возможность снижать температуру приточного воздуха в птичнике в летний период от +30...+40 °С до +16...+20 °С без повышения его относительной влажности и повышать температуру воздуха от -10...-30 °С до +6...+8 °С с последующим его нагревом дополнительными генераторами теплоты до +16...+20 °С. Электротехническая система предполагает автоматическое поддержание нормированных температур, влажности и концентрации вредных газов с помощью соответствующих датчиков, размещенных в птичнике, компьютерной обработки информации и использования частотных преобразователей для изменения скорости вращения вытяжных вентиляторов и расходных характеристик питательных насосов для перекачки воды подземных скважин. Система предусматривает наличие грунтового теплообменника

для охлаждения (нагрева) воды, циркулирующей в контуре системы теплообменников-рекуператоров – почвенный теплообменник – водонапорная башня.

В новой энергосберегающей системе поддержания микроклимата птицеводческого помещения была заменена система охлаждения в летний и частичного нагрева в зимний периоды года. Замена существующих систем охлаждения, основанных на использовании панелей охлаждения («cooling pad») на теплообменники-рекуператоры с использованием воды подземных скважин, дает возможность охладить приточный воздух в птичнике без повышения относительной влажности в помещении.

Проведено численное математическое моделирование процессов тепло- и массопереноса вентиляционного воздуха в птицеводческих помещениях с использованием и без использования новой системы охлаждения приточного воздуха. С использованием программного обеспечения САПР ANSYS Fluent получены поля скоростей, температур и давлений в помещении птичника. В результате многочисленных исследований, выбраны оптимальные режимы вентиляции в птицеводческих помещениях. Было проведено моделирование с расположением вентиляторов на высоте 1,1 м, 1,5 и 1,85 м от пола до центра оси вентиляторов. Показано, что наиболее оптимальным расположением является размещение вентиляционного оборудования на высоте 1,85 м. В результате многочисленных исследований выбраны оптимальные режимы вентиляции в птичниках.

Использование такого электротехнического комплекса дает возможность сократить количество вентиляторов с 7 до 3 шт., что снижает потребление электроэнергии в 2,3 раза, а зимой уменьшить расходы природного газа от 2 до 3,1 раза, а электроэнергии от 1,7 до 2,9 раза.

Проведено математическое моделирование процессов тепло- и массообмена в помещении птичника для поддержания микроклимата в летний и зимний период года с помощью системы MATLAB Simulink. Найдено, что необходимый воздухообмен и температурный режим в птичнике в зимнее время стабилизируется в течение 6000–7000 секунд. Относительная влажность воздуха при этом составляет 60 %. В летний период параметры системы микроклимата стабилизируются за период от 4500 до 5000 секунд. Относительная влажность при этом не превышает 70 %.

Предложена и разработана новая конструкция кожухотрубного теплообменного аппарата с компактным расположением труб в трубных пучках для охлаждения и нагрева воздуха в птичнике в летний и зимний периоды года.

Проведено компьютерное математическое моделирование процессов тепло- и массопереноса в каналах теплообменника при компактном и шахматном размещении труб с использованием программного комплекса ANSYS Fluent. Получены поля скоростей, температур и давлений в исследуемых каналах.

Проведен сравнительный анализ массогабаритных характеристик предлагаемой и известной конструкций теплообменников и найдено, что габаритные показатели в новой конструкции снижены в 1,9 раза, а масса на 10 % при одинаковой тепловой мощности.

Разработана и изготовлена экспериментальная установка для охлаждения приточного воздуха в птицеводческих помещениях, основанная на применении теплообменников-рекуператоров новой конструкции, в которых в качестве охлаждающего теплоносителя используется вода из подземных скважин. Проведены экспериментальные исследования тепло- и массообменных процессов охлаждения приточного воздуха в птичнике.

Проведено сравнение результатов численного расчета и экспериментальных данных по теплоотдаче трубного пучка с помощью статистического анализа. Полученная погрешность результатов численного моделирования не превышает 6 %.

Проведен технико-экономический расчет новой системы поддержания микроклимата, который показал, что ее использование является экономически выгодным, так как при этом потребление газа уменьшается в 3,17 раза, а данное оборудование окупит себя через 1,4 года.

Ключевые слова: электротехническая система, микроклимат, теплообменник-рекуператор, подземные скважины, числовое моделирование.

ANNOTATION

Trohanyak V. I. Energy efficient system maintenance microclimate in poultry premises. – The Manuscript.

The thesis for the degree of candidate of technical sciences, specialty 05.09.03 Electrotechnical Complexes and Systems. – National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, Kyiv, 2017.

The dissertation is devoted to solve scientific and practical task for improving the electrical complex to maintain normalized microclimate in poultry premises using underground water wells and recuperative heat exchangers for heating and cooling supply air.

A new electrical system for maintaining the microclimate in the poultry house was proposed and developed on the basis of theoretical and experimental research. This new electrical system is based on the use of underground water wells using recuperative heat exchangers for heating and cooling supply air in the summer and winter periods.

A comparison of the results of numerical calculation and experimental data on heat transfer tube bundle by using statistical analysis was conducted. The resulting error does not exceed 6 %.

Key words: electrical system, microclimate, recuperative heat exchanger, underground water wells, experimental facility.

Підписано до друку 05.05.2017 р. Зам № 429.
Формат 60x90 1/16. Папір офсетний. Друк – цифровий.
Наклад 100 прим. Ум. друк. арк. 0,9.
Друк «ЦП «КОМПРИНТ», Свідоцтво ДК № 4131, від 04.08.2011 р.
м. Київ, вул. Предславинська, 28
528-05-42, 067-209-54-30
email: komprint@ukr.net