

ВІДГУК

офіційного опонента кандидата технічних наук, доцента **Рутила Миколи Івановича** на дисертаційну роботу **Троханяка Віктора Івановича** на тему: "Енергоефективна система підтримання мікроклімату в птахівничих приміщеннях", подану в спеціалізовану вчену раду Д 26.004.07 Національного університету біоресурсів і природокористування України на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.09.03 – електротехнічні комплекси та системи.

Актуальність теми дослідження

Подана до захисту дисертаційна робота спрямована на підвищення енергоефективності електротехнічного комплексу для забезпечення нормованого мікроклімату у птахівничих приміщеннях.

У зв'язку з існуючим зростанням вартості та дефіциту енергоресурсів в Україні важливим завданням в галузі забезпечення мікроклімату є пошук і впровадження на птахофермах енергоефективних технологій на базі сучасних апаратно-програмних комплексів, які дадуть змогу ефективно використовувати паливно-енергетичні ресурси і значно знизити енергоспоживання опалювально-вентиляційними системами.

Це, насамперед, зумовлено необхідністю підвищення продуктивності та зниження собівартості продукції птахівничих комплексів. Вирішення зазначених проблем нерозривно пов'язано із застосуванням сучасних методів енергозабезпечення цих об'єктів і використанням новітніх засобів енергопостачання та альтернативних джерел енергії. Тому актуальним є розроблення нових підходів щодо вдосконалення електротехнічних комплексів для існуючих систем енергопостачання птахоферм, котрі є досить енергозатратними в даний час.

Саме ці чинники й обумовлюють актуальність обраної теми, спрямованої на дослідження енергетичних процесів як складової електротехнічного комплексу пташника, удосконалення систем та засобів підвищення енергетичної ефективності технології підтримання мікроклімату та його якісних показників.

Представлені у роботі дослідження проводились у Національному університеті біоресурсів і природокористування України відповідно до державних тематик: «Дослідження теплообмінного обладнання для когенераційних установок на базі поршневих двигунів внутрішнього згорання» (номер державної реєстрації 0114U002962) та «Експериментальне 2 дослідження, математичне моделювання і енергетична ефективність нових теплообмінних апаратів» (номер державної реєстрації 0114U002963).

Наукова новизна отриманих результатів

Наукова цінність дисертації В.І.Троханяка полягає у розв'язанні науково-прикладного завдання щодо удосконалення електротехнічного

комплексу для підтримання нормованого мікроклімату в птахівничому приміщенні із застосуванням води підземних свердловин і теплообмінників-рекуператорів для охолодження і нагрівання припливного повітря, що має істотне значення для розвитку електротехнологій.

Автором за результатами 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.

Дисертантом 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.

За результатами досліджень 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.

Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертації

Наукові положення, висновки та рекомендації викладені в дисертаційній роботі, є достовірними та належним чином обґрунтованими. Для цього автором проведені необхідні теоретичні та експериментальні дослідження з використанням розроблених та відомих методик, використані літературні джерела та патентна інформація.

Розглянуто різні способи обробки повітря в пташниках, наявні системи автоматизації та методи управління вентиляційно-опалювальним обладнанням для підтримання оптимального повітрообміну в пташниках. Обґрунтовано та запропоновано електротехнічну систему, що дає можливість знижувати температуру припливного повітря в пташнику в літній період від $+30 \dots +40$ °C до $+16 \dots +20$ °C без підвищення його відносної вологості і підвищувати температуру повітря від $-10 \dots -30$ °C до $+6 \dots +8$ °C з подальшим його нагріванням додатковими генераторами теплоти до $+16 \dots +20$ °C. Крім цього система забезпечує автоматичне підтримання нормованих параметрів повітрообміну, вологості і концентрації шкідливих газів за допомогою відповідних датчиків, розміщених в пташнику, комп'ютерної обробки інформації і використання частотних перетворювачів для зміни швидкості обертання витяжних вентиляторів і витратних характеристик живильних насосів для перекачування води підземних свердловин.

Система передбачає наявність ґрунтового теплообмінника для охолодження (нагрівання) води, що циркулює в контурі: системи теплообмінників-рекуператорів – ґрунтовий теплообмінник – водонапірна вежа.

У новій енергоефективній системі підтримання мікроклімату птахівничого приміщення була замінена система охолодження повітря в літній і часткового нагрівання в зимовий періоди року.

Проведено числове математичне моделювання процесів тепло- і масопереносу вентиляційного повітря в птахівничих приміщеннях з використанням і без використання нової системи охолодження припливного повітря. З використанням програмного забезпечення САПР ANSYS Fluent отримані поля швидкостей, температур і тисків в приміщенні пташника. В результаті численних досліджень, обрані оптимальні режими вентиляції в птахівничих приміщеннях. Показано, що найбільш оптимальним розташуванням є розміщення вентиляційного обладнання на висоті 1,85 м.

У результаті досліджень обрані оптимальні режими вентиляції в пташниках. Використання такого електротехнічного комплексу дає можливість скоротити кількість вентиляторів з 7 до 3, 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. Проведено математичне моделювання процесів тепло- та масообміну в приміщенні пташника для підтримання мікроклімату в літній і зимовий період року за допомогою системи MATLAB Simulink.

Запропоновано і розроблено нову конструкцію кожухотрубного теплообмінного апарата з компактним розташуванням труб в трубних пучках для охолодження і нагрівання повітря в пташнику в літній і зимовий періоди року. Проведено комп'ютерне математичне моделювання процесів тепло- і масопереносу в каналах теплообмінника при компактному і шаховому розміщенні труб з використанням програмного комплексу ANSYS Fluent.

Отримано поля швидкостей, температур і тисків в досліджуваних каналах. Проведено порівняльний аналіз масогабаритних характеристик пропонованої і відомої конструкцій теплообмінників і знайдено, що габаритні показники в новій конструкції знижені в 1,9 рази, а маса на 10% при однаковій теплової потужності.

Розроблено та виготовлено експериментальну установку для охолодження припливного повітря в птахівничих приміщеннях, яка базується на застосуванні теплообмінників-рекуператорів нової конструкції, в яких як тепло- холодоносієм використовується вода з підземних свердловин.

Проведено експериментальні дослідження тепло- і масообмінних процесів охолодження припливного повітря в пташнику. Проведено порівняння результатів числового розрахунку і експериментальних даних по тепловіддачі трубного пучка за допомогою статистичного аналізу. Отримана похибка результатів числового моделювання не перевищує 6%. Проведено техніко-економічний розрахунок нової системи підтримання мікроклімату, який показав можливість економії споживання газу в 3,17 рази та окупність обладнання через 1,4 року.

Основні наукові положення за результатами досліджень відображені у семи пунктах основних висновків.

Перший висновок базується на аналізі 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.

Другий висновок зроблений на підставі результатів 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.

У **третьому висновку** стверджується, що 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 рази, а масу – на 10 %.

Четвертий висновок ґрунтується на результатах математичного моделювання процесів гідродинаміки та теплопереносу в теплообмінниках нової конструкції, що дало змогу визначити їх ефективність та основні закономірності теплообміну, а також оптимальну геометрію розташування труб у пучку.

П'ятий висновок вказує, що 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.

Шостий висновок базується на техніко-економічному розрахунку і свідчить, що застосування 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 термін окупності 1,4 роки.

У **сьомому висновку** вказана практична цінність результатів дисертаційного дослідження, яка базується на результатах виробничої перевірки і техніко-економічних розрахунків.

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

Значення для науки й народного господарства отриманих автором результатів, а також рекомендації щодо їхнього використання

Автором на основі використання моделювання процесів гідродинаміки 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.

Розроблена система знайшла застосування на виробництві ВАТ «АК Південтрансенерго», що підтверджується актами впровадження

Оцінка змісту дисертації та її завершеності

Дисертація містить вступ, чотири розділи, висновки, додатки та список використаних джерел зі 180 найменувань, з них 47 іноземною мовою. Робота викладена на 240 сторінках друкованого тексту. В ній налічується 97 рисунків, 7 таблиць та 8 додатків.

У *вступі* обґрунтована актуальність теми дисертаційної роботи, сформульовані мета, об'єкт, предмет, задачі та методи досліджень. Визначені наукова новизна, практична значимість отриманих результатів та результати апробації роботи, наведена загальна характеристика роботи.

Мета, об'єкт та предмет досліджень, наукова новизна сформульовані відповідно до вимог, які ставляться до кандидатських дисертацій.

У *першому розділі* на основі аналізу літературних джерел проведено огляд відомих електротехнічних систем підтримання мікроклімату в пташниках та існуючих систем вентиляції і вивчено стан проблеми. Він свідчить про необхідність проведення подальших досліджень, удосконалень та розроблення нових електротехнічних комплексів для підтримання мікроклімату.

Існуючі 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* 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.

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.

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.

У *третьому розділі* 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.

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 та відповідних граничних умов. Порівняння параметрів традиційного та запропонованого теплообмінника доводить, що нова конструкція, за практично однакової теплової потужності, має у 1,9 рази менші повздовжні розміри та на 10 % меншу масу.

У *четвертому розділі* проведено експериментальні дослідження для системи охолодження припливного повітря водою підземних свердловин. Реалізовано схемні рішення, теоретичні обґрунтування яких подано у попередніх розділах. Для здійснення експериментальних досліджень подано методику їх виконання, а також вихідні дані та початкові умови.

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.

У цілому структура, обсяг та оформлення дисертації відповідають вимогам, які пред'являються до кандидатських дисертацій.

Повнота публікацій матеріалів досліджень

Основні результати дисертації відображені у 27 наукових працях (2 статті у наукових фахових виданнях України, 9 статей у наукових фахових виданнях України, включених до міжнародної наукометричної бази даних, 4 статті у наукових виданнях інших держав, 2 патенти України на винахід та 10 тез наукових доповідей). Основні положення дисертації доповідалися на 10 міжнародних і національних наукових конференціях. Це дає підставу зробити висновок про те, що у перелічених виданнях повністю представлено основні результати роботи.

Відповідність змісту автореферату основним положенням дисертації

Структурна побудова, зміст, результати теоретичних та експериментальних досліджень, їх узагальнення та основні висновки, які наведені в авторефераті, відповідають основним положенням дисертації і повністю їх відображають.

Зауваження щодо змісту та оформлення дисертації і автореферату

1. У роботі є посилання на дослідження, проведені у 30 – 70-х роках минулого століття (машини, обладнання, теплообмінні пристрої тощо). Доцільно було б значно ширше привести результати закордонних досліджень, виконаних в останні роки стосовно технології забезпечення мікроклімату на базі сучасного обладнання та алгоритмів його функціонування.
2. На стор. 11 дисертації та відповідно стор. 3 автореферату вжито аббревіатуру CFD, яка не має розшифрування у тексті та у переліку умовних скорочень, позначень та символів.
3. Під час досліджень на експериментальній установці (рис. 4.3 дисертації, та рис. 12 автореферату) наведено схему розташування датчиків температури в теплообмінному апараті і вказано 22 точки вимірювання без чіткого обґрунтування прийнятого рішення щодо кількості точок та їх розташування.
4. У дисертації (стор. 122) та авторефераті (стор. 16–17) на структурній схемі до елемента MP2211 вжито термін "термостат", що є некоректним, оскільки цю функцію виконують декілька складових системи (датчики температури DS1–DS22, цифровий термометр MP707, який, зв'язаний з вказаним блоком (MP2211) та виконавчими пристроями на базі електромагнітних реле).

5. На стор. 18 автореферату вказані витрати води для охолодження припливного повітря – 2–108 м³/год, проте на графічній залежності (рис. 18) максимальне значення по осі output становить 30. Крім цього, пояснення до рис. 18 коректніше було б сформулювати таким чином: Графічна залежність витрат води, необхідної для охолодження припливного повітря, м³/год, від зовнішньої температури та температури повітря в приміщенні пташника, °С.
6. На представлених графічних матеріалах в тексті дисертації (рис 2.34, стор. 82) не відображені результати моделювання.
7. У висновку 7 потребує уточнення величина економії теплової енергії – 250 кВт·год, оскільки не вказано за який період часу це відбувається, хоча в тексті автореферату (стор. 11) йдеться про зимовий період, і тому, якщо виходити із цього твердження, вказана величина є значно занижена.
8. В роботі мають місце стилістичні та орфографічні помилки.

ВИСНОВОК

Дисертаційна робота **Троханяка Віктора Івановича** "Енергоефективна система підтримання мікроклімату в птахівничих приміщеннях" є самостійною і завершеною. У роботі отримані нові теоретично та практично обґрунтовані результати. Проведені дослідження виконані на належному науково-методичному рівні з використанням сучасного програмного інструментарію та сучасних методик досліджень.

Враховуючи актуальність теми, наукову новизну досліджень, значимість отриманих результатів для науки і практики, відповідність дисертаційної роботи паспорту спеціальності 05.09.03 і вимогам Порядку присудження наукових ступенів, затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 24 липня 2013 року № 567, вважаю, що її автор заслуговує присудження наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.09.03 – електротехнічні комплекси та системи.

Кандидат технічних наук (05.09.03), доцент,
доцент кафедри машинознавства та
транспорту Тернопільського національного
педагогічного університету
імені Володимира Гнатюка



М. І. Рутило

