

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

КЕПКО Олег Ігорович

УДК: 631.344.8:644.1

**ЕНЕРГОЗБЕРІГАЮЧІ РЕЖИМИ РОБОТИ ЗАМКНУТОЇ СИСТЕМИ
ОПАЛЕННЯ ТА ВЕНТИЛЯЦІЇ ТЕПЛИЦЬ**

05.14.06 – Технічна теплофізика та промислова теплоенергетика

Автореферат

дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Київ – 2005

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Уманському державному аграрному університеті Міністерства аграрної політики України.

Науковий керівник: кандидат технічних наук, старший науковий співробітник **Голуб Геннадій Анатолійович**, Національний науковий центр „Інститут механізації і електрифікації сільського господарства” УААН, завідувач лабораторією інженерних проблем біотехнологічних процесів.

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор **Федорів Володимир Гаврилович**, Відкритий міжнародний університет розвитку людини „Україна”, професор кафедри природничих наук та інформатики.

кандидат технічних наук, доцент **Міщенко Анатолій Васильович**, Національний аграрний університет, завідувач кафедри теплоенергетики

Провідна установа: Інститут технічної теплофізики НАН України.

Захист відбудеться 8.06.2005 р. о 14 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради К26.058.05 в Національному університеті харчових технологій за адресою: 01033, Київ–33, вул.. Володимирська, 68, ауд. А-311.

З дисертацією можна ознайомитись в бібліотеці університету.

Автореферат розісланий „___” _____ 2005 р.

Вчений секретар

спеціалізованої вченої ради

 Філоненко В.М.

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Однією з проблем сільського господарства в Україні є зменшення енергоємності виробництва продукції. Особливо гостро ця проблема стоїть у овочівництві закритого ґрунту. Запропонована замкнута система опалення та вентиляції (ЗСВ) теплиць, яка дозволяє під час вирощування грибів і рослин організувати подачу повітря, насиченого вуглекислим газом, до рослинної теплиці (теплиці), а збагаченого киснем – до грибної теплиці (грибниці), за рахунок цього, покращити газовий баланс в приміщеннях, а також зменшити витрати енергії на опалення та вентиляцію. Цьому ж сприяє застосування в ЗСВ теплового насоса (ТН).

Впровадження ЗСВ потребує дослідження тепломасообмінних процесів в усіх елементах блоку „теплиці – грибниця” та енергозберігаючих властивостей ЗСВ за умов відповідності параметрів газового середовища, в якому вирощуються овочеві рослини та гриби, їх біологічним особливостям. Для цього результати досліджень тепломасообміну треба давати окремо у вигляді теплових балансів та балансів вмісту CO₂ у вентиляційному повітрі. Це стосується також динамічних характеристик тепло- та масообміну. Замкнуті системи вентиляції повинні бути економічно вигідними, а викиди в навколишнє середовище – мінімальними.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Основу дисертаційної роботи склали дослідження, виконані в Уманському державному аграрному університеті в 1999–2005 рр. згідно з державною науково-технічною програмою „Енерго- та ресурсозберігаючі технології у сільськогосподарському виробництві”, а також у відповідності до тематичних планів НДР на 2001–2005 роки „Технологічні комплекси машин і обладнання для механізації, електрифікації та автоматизації в рослинництві і в тваринництві” № 0101U004497 та „Розробка сучасних конкурентноспроможних технологій виробництва харчових продуктів рослинного походження” № 0101U004498. Тема дисертаційної роботи також пов'язана з загальноукраїнськими науковими програмами: постановою Кабінету Міністрів України від 22.06.1994 р. № 429 "Про реалізацію пріоритетних напрямків розвитку науки і техніки"; науково-технічною програмою Міністерства агропромислового комплексу України від 30.02.1998 р. № 339 "Науково-дослідні і дослідницько-конструкторські розробки".

Мета і задачі дослідження. Зменшення витрат теплової та електричної енергії в теплицях шляхом застосування запропонованої замкнутої системи опалення і вентиляції на основі теоретичних і експериментальних досліджень теплообмінних та газообмінних процесів в замкнутій системі вентиляції.

Для досягнення поставленої мети були розв'язані наступні задачі:

1. Обґрунтувати напрямки зменшення витрат теплової та електричної енергії в теплицях.

2. Теоретично та експериментально вивчити тепло- та масообмінні характеристики процесів в теплицях під час вирощування овочевої та грибної продукції.

3. Обґрунтувати і розробити конструкцію замкнутої системи опалення і вентиляції теплиць та розробити технологічні основи її автоматизації.

4. Розробити методику інженерного розрахунку замкнутої системи опалення і вентиляції теплиць з розробкою програмного забезпечення, провести виробничу перевірку та визначити економічну ефективність системи.

Об'єкт дослідження – процеси утилізації теплоти та регенерації повітря в замкнутій системі опалення і вентиляції теплиць, виконаних у вигляді комплексу споруд „рослинні теплиці – грибна теплиця”.

Предмет дослідження – режими роботи та параметри теплоносіїв у замкнутій системі опалення і вентиляції теплиць, виконаної у вигляді комплексу споруд „рослинні теплиці–грибна теплиця”.

Методи дослідження. Теоретичні і експериментальні дослідження виконувались за стандартними методиками. Застосовано методи математичного моделювання з використанням програмного забезпечення MathCAD 2001Professional, числові методи диференціювання та інтегрування аналітично заданих функцій при розв'язанні рівнянь динаміки зміни концентрації CO₂ та температури повітря і субстрату. Для дослідження статичних та динамічних характеристик використовувались методи пасивного та активного експерименту. Експериментальні дані оброблялись за методами математичної статистики.

Наукова новизна отриманих результатів:

– вперше аналітично досліджені та експериментально підтверджені характеристики тепломасообмінних процесів під час опалення та вентиляції рослинних теплиць і грибної теплиці – статичні у вигляді балансів теплоти та вмісту CO₂, а також динамічні у вигляді розгінних кривих по температурі та вмісту CO₂;

– вперше для замкнутої системи опалення та вентиляції теплиць отримані регресійні рівняння нестационарних режимів по каналах температури та концентрації CO₂;

– вперше для замкнутої системи опалення та вентиляції теплиць обґрунтовано застосування теплового насоса та показана його гранична вартість.

– вперше для замкнутої системи опалення та вентиляції теплиць запропоновані технологічні основи автоматизації тепломасо- та газообмінних процесів.

Практичне значення отриманих результатів:

– задовільний збіг результатів аналітичного та експериментального дослідження тепло- та масообміну між повітрям та субстратом є підставою для продовження та узагальнення цих досліджень;

– розроблені технологічні основи автоматизації теплотехнічних та газообмінних процесів замкнутої системи опалення і вентиляції теплиць є підставою для створення

відповідної АСУТП;

– дослідження роботи теплового насосу в замкнутій системі опалення і вентиляції та визначення його граничної вартості при використанні як альтернативи іншим джерелам теплоти є практичною рекомендацією по використанню його в системі АПК;

– розроблену методику визначення вартісних еквівалентів носіїв теплової енергії можна використовувати для аналізу і синтезу систем опалення та вентиляції різних об'єктів АПК.

– розроблена методика інженерного розрахунку замкнутої системи опалення та вентиляції теплиць дозволяє використовувати її при реконструкції існуючих та проектуванні нових тепличних комплексів в АПК.

Результати досліджень передано: до Українського науково-проектного об'єднання „УкрНДІагропроект” для використання під час розробки проектів нових та реконструкції існуючих споруд закритого ґрунту; до навчального відділу Уманського ДАУ для використання в навчальному процесі.

Особистий внесок здобувача полягає у:

– теоретичному та практичному дослідженні тепломасообмінних та газообмінних процесів у замкнутій системі опалення та вентиляції теплиць;

– створенні методики розрахунку замкнутої системи опалення та вентиляції теплиць;

– створенні методик математичного і експериментального дослідження процесів теплообміну та газообміну в теплицях із замкнутою системою опалення та вентиляції;

– розробці технологічних основ автоматизації тепломасо- та газообмінних процесів в замкнутій системі опалення та вентиляції теплиць;

– дослідженні теплового насосу в системі теплиць, у визначенні граничної вартості теплового насосу;

– розробці та впровадженні методики визначення відносних вартісних еквівалентів енергоносіїв для теплиць.

Апробація результатів дисертації. Результати досліджень обговорено та схвалено: на XX конференції молодих вчених „Актуальні питання забезпечення АПК” (Асканія-Нова–Херсон, липень 1993 р.); на науково-технічній конференції „Енергозберігаючі технології та технічні засоби для виробництва сільськогосподарської продукції” (Глеваха, 16–18.11.1993р.); на міжнародних науково-технічних конференціях „Технічний прогрес в сільськогосподарському виробництві” (Глеваха, 9–12.10.2000р., 25–28.09.2001р., 19–22.08.2002р.); на міжнародній науково-технічній конференції „Енергетика в АПК” (Мелітополь, 29–31.05.2001р.); на міжнародній науково-практичній конференції „Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України” (Харків, 9–10.10.2002р.);

на IV-й Міжнародній науково-технічній конференції „Механізація і енергетика сільського господарства” MOTROL 2003 (Київ, 21–23.05.2003р.); на семінарі „Новітні технології вирощування грибів” (Київ, 21.01.2004р.); на міжнародній науково-практичній конференції „Агромех–2004” (Львів, 22–24.09.2004р.).

Публікації. За темою дисертації опубліковано 11 робіт, у тому числі 6 робіт у фахових виданнях та отримано патент України на винахід.

Структура та обсяг роботи. Дисертація складається із вступу, чотирьох розділів, загальних висновків, списку використаної літератури та додатків. Загальний обсяг дисертації складає 193 сторінки тексту, із них 150 сторінок основного тексту, 14 таблиць, 51 рисунок, а також 12 додатків на 31 сторінці. Список використаних джерел містить 147 найменувань – на 11 сторінках.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У першому розділі „**Аналіз опалювально-вентиляційних систем та обладнання, що застосовуються у спорудах закритого ґрунту**” проведено аналіз існуючих систем та способів опалення і вентиляції споруд закритого ґрунту (СЗГ), проаналізовано співвідношення витрат енергії на технологічні процеси під час вирощування сільськогосподарської продукції у закритому ґрунті.

Опалювально-вентиляційні системи можна поділити на дві групи: ті, що широко використовуються і отримали відображення у типових проектах, та альтернативні, в яких зроблено акцент на енергозбереження та відновлювальні джерела енергії. При використанні традиційних СЗГ слід диференціально підходити до проблем опалення та вентиляції в залежності від їх призначення. Аналіз типових проектів СЗГ показав, що, наприклад, зимові блокові ґрунтові теплиці споживають за рік в розрахунку на 1 га площі в середньому: 3,6 тис.т вугілля (котельні на твердому паливі); 19,4 тис.м³ природного газу для підживлення рослин; 100 тис. кВт-г електроенергії на роботу силового електрообладнання; 180 тис. кВт-г на досвічування розсади; 4 тис.кВт.г на електроосвітлення; 10 т дизпалива на обробку ґрунту та 11 т бензину на транспортування вантажів. Частка вугілля, природного газу, електроенергії та нафтопродуктів в енергобалансі споруд закритого ґрунту становить відповідно 95,12%; 1,68%; 2,47% та 0,73%.

СЗГ з використанням засобів енергозбереження менш поширені. Разом з тим, при зміні цін на енергоносії в сторону збільшення, питання економії енергії стає першочерговим. Очевидно, що за цих обставин на найбільшу увагу заслуговують ті системи, які будуть мати менші капітальні витрати та строк окупності за рахунок більшої ефективності.

До цього часу не розроблені замкнуті системи вентиляції для споруд закритого ґрунту, які б дозволяли вирішувати питання газового підживлення рослин та утилізації теплоти, а також відсутні ефективні утилізуючі вентиляційні системи з

тепловими насосами, які дозволяли б використати теплоту викидного повітря теплиць та ґрунту.

Таким чином, постановка і розв'язання задач досліджень у напрямку створення замкнених систем вентиляції є актуальними для овочівництва закритого ґрунту.

У другому розділі „Обґрунтування напрямків зменшення витрат теплової та електричної енергії у спорудах закритого ґрунту” досліджено вплив на собівартість продукції закритого ґрунту заміни одного виду палива іншим при теплопостачанні від різних котелень. Розрахунки показали, що найменші щорічні витрати на виробництво продукції (в цінах 2003 р.) має варіант з котельнею на газі – 120,4 грн в розрахунку на 1 м² площі теплиці. Причому в загальній структурі витрат частка витрат на енергоносії становить 57,7%. Далі йде варіант з використання вугілля: питомі витрати в цьому випадку – 157,8 грн/м². Частка енергоносіїв при цьому зростає до 69,8 %. Після вугілля гірші показники має варіант з мазутом, далі – пічне побутове паливо. Найбільші витрати пов'язані з використанням електроенергії через її високу вартість.

Під час аналізу доцільності використання різних видів енергії в СЗГ включно із відновлювальною було з'ясовано, що раціональне співвідношення різних традиційних енергоносіїв є наступним: природний газ 96,8%, електроенергія 2,47% та нафтопродукти 0,73%. Якщо природний газ не підведено, слід опалювати вугіллям, мазутом, пічним побутовим паливом в порядку переліку.

Собівартість тепла, генерованого вітроелектроагрегатами, вища від собівартості тепла, одержаного за рахунок використання традиційного палива. Тому застосування цього агрегату економічно поки що не вигідне. Геліотепло навпаки дешевше від тепла отриманого за рахунок спалення вугілля, мазуту, дизпалива або ж електроенергії, але не газу. Тому доцільно замінити ним перші чотири види палива. В СЗГ технологічні процеси, які потребують тепла, це: стерилізація ґрунту, підігрівання поливної води та гаряче водопостачання. Стерилізація ґрунту виконується за допомогою високопотенційної пари, яку в колекторі отримати не можливо. Тому, приймаючи для розгляду два останні процеси і термін використання енергії сонця з квітня по жовтень, визначимо, що, за умови безперервного приходу тепла, участь його в енергобалансі теплиць становить 1,3%. Зважаючи також на показник ймовірності (приблизно 0,45), забезпеченість сонячною тепловою енергією складе 0,6% енергопотреб підприємства, що вивільнить 24,5 т. вугілля або 16 тис.м³ газу на кожен гектар площі.

При наявності у споживача різних джерел енергії та відповідного обладнання постає питання правильного вибору енергоносія, з врахуванням його вартості та витрат на транспортування. Запропоновано методику оцінки ситуації, яка б давала найбільш точну уяву про ефективність застосування палива, і була доступна у використанні на практиці. Для цього пропонується поняття вартісного еквіваленту носія теплової енергії.

Вартісний еквівалент енергоносія – це такі розрахункові витрати на придбання та транспортування його, які однакові з базовим (вибирається за бажанням дослідника) енергоносієм. Для зручності інтерпретації результатів розрахунків доцільно використовувати відносну величину вартісних еквівалентів енергоносіїв σE :

$$\sigma E = \frac{(T^{\bar{o}} + r_T^{\bar{o}}) \cdot Q_i \cdot k_i}{Q^{\bar{o}} \cdot k^{\bar{o}} \cdot (T_i + r_{Ti})} - 1, \quad (1)$$

де T – вартість (тариф) одиниці енергоносія, грн/кВт·г, (грн/м³, грн/кг); $T^{\bar{o}}$ – вартість (тариф) одиниці базового енергоносія, грн/кВт·г, (грн/м³, грн/кг); Q_i – енергоємність палива, МДж/кВт·г, (МДж/м³, МДж/кг); k – коефіцієнт використання; $Q^{\bar{o}}$ – енергоємність палива по базовому варіанту; $k^{\bar{o}}$ – коефіцієнт використання по базовому варіанту; r_T – приведені витрати на транспортування та зберігання; $i = 1, 2, 3 \dots$ – варіант, що розглядається.

Для більшої наглядності результатів їх можна зобразити у вигляді прямої (рис. 1), де за нуль приймається базовий варіант, а всі інші розподіляються по обидві сторони по принципу: з одного боку позитивний результат, з іншого – негативний (на це вкаже знак σE).

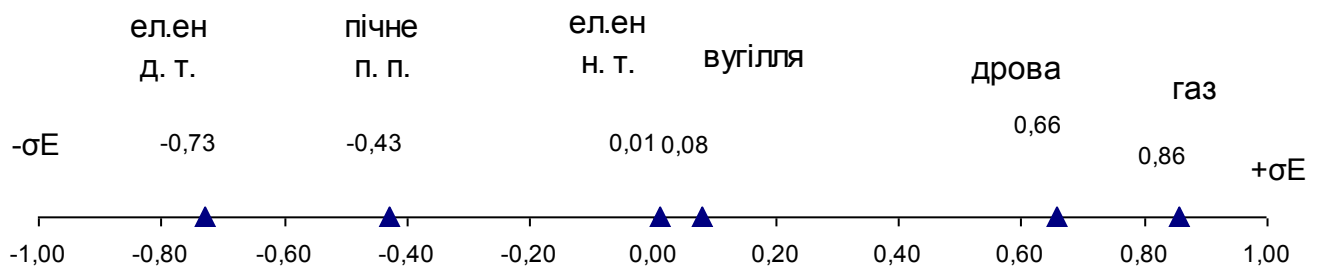


Рис. 1. Розподілення відносних вартісних еквівалентів енергоносіїв відносно базового енергоносія (мазута).

Обґрунтовано енергозберігаючі режими роботи теплового насосу (ТН) в СЗГ. Теплонасосна система теплопостачання (ТСТ) може бути реалізована на базі водяної та повітряної систем опалення СЗГ. Схемне рішення ТСТ в значній мірі залежить від того, що є джерелом низькопотенційного тепла.

Для визначення параметрів ТСТ та ТН розроблено математичну модель, яка дозволяє визначити основні конструктивні характеристики ТН (площу поверхні теплообміну випарника і конденсатора та витрату теплоносіїв) для вибраного типу

компресора та холодоагента при заданих температурах на вході у випарник та виході із конденсатора, а також при фіксованих значеннях параметрів теплообміну – енергетичні параметри ТН та ТСТ при зміні температури теплоносія на вході у випарник та виході із конденсатора.

Експериментальна перевірка математичної моделі та визначення техніко-економічних показників проводилось за допомогою розробленого парокompресійного ТН з повітряним випарником та водяним конденсатором, який був виготовлений на Мелітопольському заводі холодильного машинобудування.

Експериментальні дослідження проводились за допомогою термостатичної камери науково-дослідного інституту "Кондиціонер". Це дозволяло моделювати в реальних межах температурні режими роботи ТН. Аналіз результатів енергетичної оцінки показав, що при температурі повітря на вході у випарник ТН від 0 до мінус 5 °С споживана потужність ТН склала 3...4 кВт, а тепла - 7... 11 кВт. Таким чином, коефіцієнт перетворення (економія енергії) ТН по результатах експериментальних випробувань становив 2,1...2,5 відносних одиниць.

Виробничі випробування проводились на протязі опалювального сезону 1994-1995 років. Під час їх проведення, при середній температурі опалювального періоду мінус 1°С, середнє значення коефіцієнта перетворення ТН становило 2,4 відносних одиниць.

У третьому розділі **„Теоретичне та експериментальне визначення параметрів та режимів роботи замкнутої системи опалення та вентиляції теплиць”** запропоновано варіанти реалізації ЗСВ. За основу взято варіант згідно з Патентом України № 57956 А „Спосіб вентиляції споруд закритого ґрунту” (рис.2).

ЗСВ складається із трьох приміщень – грибниці, нічної рослинної та денної рослинної теплиць. Принцип роботи запропонованої системи полягає в наступному: у денній теплиці вирощуються рослини, а гриби у грибному приміщенні. Між приміщеннями відбувається перекачування повітря, яке проводиться у світлу пору доби. Додатково вирощують рослини у нічній теплиці із світлонепроникним покриттям в темну пору доби при штучному освітленні і в темну пору доби перекачують повітря між цим приміщенням і грибницею, а перекачування повітря між денною теплицею і грибницею припиняють. При цьому перекривають повітря заслінками “1”, які повертають на ніч ввєрх, як показано на рисунку 2. Тим самим припиняється подача повітря в денну теплицю і забезпечується подача в приміщення зі штучним освітленням.

Запропонована система вирішує одночасно питання економії теплової енергії, оскільки тепер немає необхідності викидати тепло назовні, і газове взаємопідживлення рослин та грибів. Встановлення в системі ТН дозволяє збільшити економію теплової енергії.

Математичне моделювання роботи такої системи тепло- і повітрообміну дає

можливість оцінити ефективність роботи опалювально-вентиляційного обладнання та оцінити значення технологічних параметрів мікроклімату.

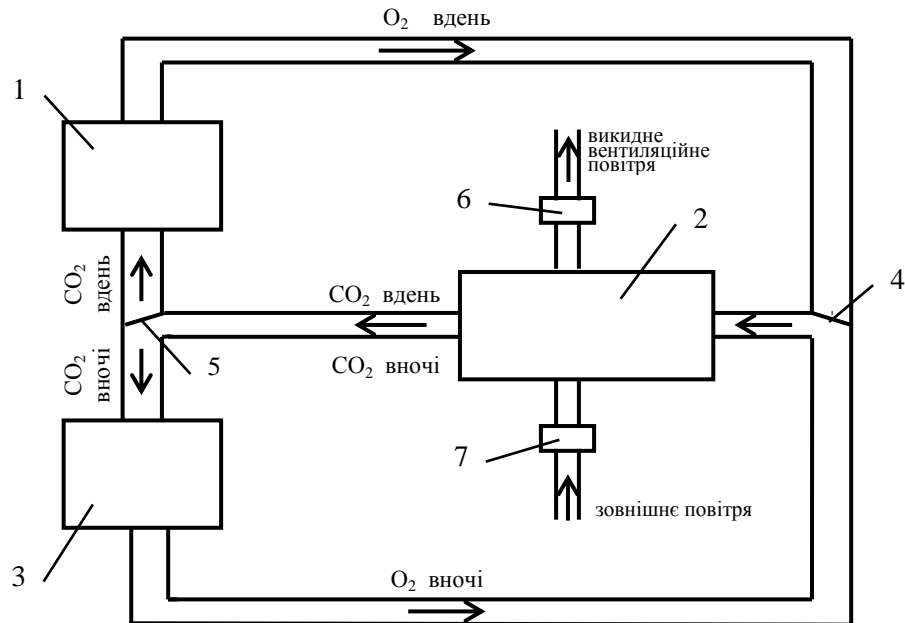


Рис. 2. Функціональна схема замкнутої системи вентиляції
1 – денна теплиця; 2 – грибниця; 3 – нічна теплиця;
4,5 – заслінки. 6 – випарник ТН; 7 – конденсатор ТН.

Для системи споруд „рослинна теплиця – грибна теплиця” в загальному вигляді цільова функція має вигляд:

$$f(x) = \sum_{k \in K} \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} a_{kij} x_{kij} + \sum_{y \in Y} \sum_{l \in L} \sum_{m \in M} a_{ylm} x_{ylm} \rightarrow \min, \quad (2)$$

де для грибниці прийнято позначення: i – номер дня вегетаційного періоду; I – кількість днів вегетаційного періоду; k – порядковий номер періоду вегетації; K – кількість всіх періодів вегетації; j – параметр мікроклімату, що регулюється; J – кількість параметрів (керованих змінних), що регулюються; для теплиці, прийнято позначення: l – номер дня вегетаційного періоду; L – кількість днів вегетаційного періоду; y – порядковий номер періоду вегетації; Y – кількість всіх періодів вегетації; m – параметр мікроклімату, що регулюється; M – кількість параметрів, що регулюються; x_{kij} – витрати енергії в i -й день вегетаційного періоду k -го періоду вегетації для підтримання j -го параметру мікроклімату; x_{ylm} – витрати енергії в l -й день вегетаційного періоду y -го періоду вегетації для підтримання m -го параметру мікроклімату.

Граничні умови дослідження приведені для грибної теплиці:

– враховуючи, що регулювання концентрації CO_2 і освітлення в першому періоді за

технологічними умовами не проводиться ($k=1$) і, позначивши через: $j=1$ – параметр температури; $j=2$ – вологості; $j=3$ – CO_2 ; $j=4$ – освітленість, визначимо, що:

$$\sum_{k \in K} \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} x_{lij} = 0, \quad (j = 3, 4);$$

– початок, закінчення і тривалість періодів вегетації:

$$\sum_{i \in I} i \cdot \lambda_{ki}; \quad \sum_{i \in I} i \cdot \lambda_{(k+1)i} \quad \Delta i_k = \sum_{i \in I} i \cdot \lambda_{ki} - \sum_{i \in I} i \cdot \lambda_{(k+1)i}, \quad k = 1 \dots 4;$$

де λ – коефіцієнт-зв'язка (булева змінна).

– враховуючи почерговість проходження періодів

$$\sum_{i \in I} i \cdot \lambda_{1i} < \sum_{i \in I} i \cdot \lambda_{2i} \dots \sum_{i \in I} i \cdot \lambda_{ki}$$

визначимо кінець циклу вирощування гриба при $K > 4$.

Додаткові обмеження: потік явної теплоти від субстрату постійний; інтенсивність випаровування вологи зі змоченої поверхні не залежить від температури; концентрація вуглекислого газу в зовнішньому повітрі та повітрі, яке надходить із суміжної теплиці, на протязі перехідних процесів постійні; температура зовнішнього повітря на протязі перехідних процесів постійна; густина повітря не залежить від температури і тиску всередині приміщення; час переміщення повітря в приміщенні не враховується.

Розроблена статична математична модель ЗСВ представляє собою систему трьох рівнянь теплових балансів приміщень. Для реальних умов експлуатації, в зв'язку з тим, що частина повітря повинна оновлюватись, і з тим, що в ЗСВ приміщення працюють попарно, система матиме вигляд:

$$\begin{cases} -Q_{T.H.1} - Q_{on.1} + Q_{m.с.1} - c_p \cdot [G_{M.1}(t_{г.2} - t_{г.1}) + G_{M.2}(t_{зв} - t_{г.1})] = 0 \\ -Q_{T.H.2} - Q_{on.2} + Q_{m.с.2} - c_p \cdot G_{M.1} \cdot (t_{г.1} - t_{г.2}) = 0 \end{cases} \quad (3)$$

де $Q_{T.H.}$ – потужність теплонадходжень; $Q_{on.}$ – потужність системи опалення; $Q_{m.с.}$ – потужність тепловтрат через огороження та з інфільтраційним повітрям; c_p – масова теплоємність повітря; $G_{M.1}$ – повітрообмін між приміщеннями; $G_{M.2}$ – повітрообмін з зовнішнім середовищем; $t_{г.}$ – температура внутрішнього повітря; $t_{зв}$ – температура зовнішнього повітря; 1,2 – номери приміщень (1–грибниця, 2–теплиця).

Розв'язання системи рівнянь приводить до визначення температур в грибниці і теплиці в залежності від потужності опалювальної системи (рис. 3). Залежності приводяться для зимового періоду ($t_{зв} = -15^\circ\text{C}$, $G_{M.1} = 0,0346$ кг/с, $G_{M.2} = 0,0194$ кг/с).

Температура субстрату та повітря є визначальними факторами, які впливають на процес вирощування грибів, одночасно температура повітря є основним фактором

під час вирощування овочевих культур в теплиці. Для визначення функціональної залежності між температурою субстрату і повітря в грибниці та теплиці в часі запропоновано математичну модель у вигляді системи із трьох диференціальних рівнянь, при аналітичному розв'язанні якої отримано залежності:

– для температури субстрату –

$$t_C = C_1 \exp(k_1 \tau) + C_2 \exp(k_2 \tau) + C_3 \exp(k_3 \tau) + t_C^{cm}; \quad (4)$$

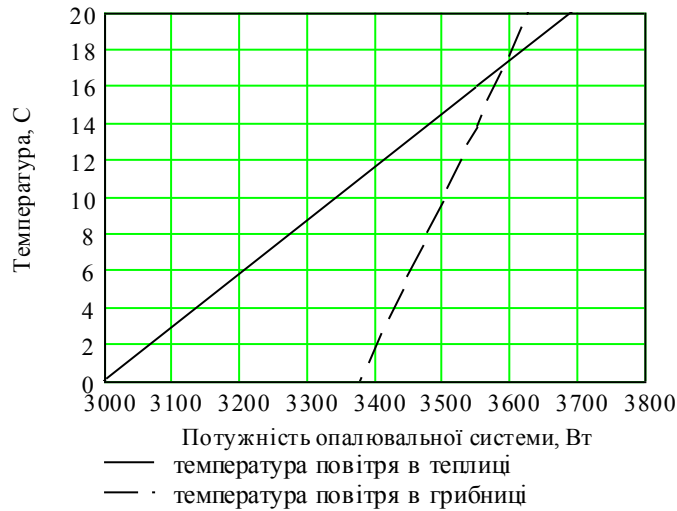


Рис. 3 Залежність температури повітря в грибниці і теплиці в залежності від потужності опалювальної системи.

– для температури повітря в грибниці –

$$t_g^{ep} = \left(\frac{k_1}{C} + 1 \right) C_1 \exp(k_1 \tau) + \left(\frac{k_2}{C} + 1 \right) C_2 \exp(k_2 \tau) + \left(\frac{k_3}{C} + 1 \right) C_3 \exp(k_3 \tau) + t_g^{ep,cm}; \quad (5)$$

– для температури повітря в теплиці –

$$t_g^m = \left(\frac{k_1^2}{Ck_{II}^{ep}} + \frac{C+\lambda}{Ck_{II}^{ep}} k_1 - \frac{E-\lambda}{k_{II}^{ep}} \right) C_1 \exp(k_1 \tau) + \left(\frac{k_2^2}{Ck_{II}^{ep}} + \frac{C+\lambda}{Ck_{II}^{ep}} k_2 - \frac{E-\lambda}{k_{II}^{ep}} \right) C_2 \exp(k_2 \tau) + \left(\frac{k_3^2}{Ck_{II}^{ep}} + \frac{C+\lambda}{Ck_{II}^{ep}} k_3 - \frac{E-\lambda}{k_{II}^{ep}} \right) C_3 \exp(k_3 \tau) + t_g^{m,cm}, \quad (6)$$

де C_1, C_2, C_3 – постійні рішення диференціального рівняння; k_1, k_2, k_3 – корені характеристичного рівняння виду $k^3 + ak^2 + bk + c = 0$; τ – час; $t_C^{cm}, t_g^{m,cm}, t_g^{ep,cm}$ – усталене значення, відповідно, температури субстрату, температури повітря в теплиці та

$$\text{грибниці } ^\circ\text{C}; \quad C = \frac{\alpha_c S_c}{m_c c_c}; \quad E = \frac{\alpha_c S_c}{m_{II}^{ep} c_p}; \quad F_1 = \frac{\alpha_{оп}^m S_{оп}^m}{m_{II}^m c_p}; \quad D_1 = \frac{k_{ог}^m S_{ог}^m}{m_{II}^m c_p}; \quad \lambda = D^{ep} + E + F_1 + k_{II}^{ep};$$

$\lambda = D^{ep} + E + F_1 + k_{II}^{ep}$; k_{II}^{ep} – коефіцієнт повітрообміну між приміщеннями, с^{-1} ; α_c – коефіцієнт тепловіддачі від субстрату до повітря, $\text{Вт}/\text{м}^2 \text{К}$; S_c – площа поверхні субстрату, яка обдувається повітрям, м^2 ; m_c – маса субстрату в грибниці, кг ; c_c – масова теплоємність субстрату, $\text{Дж}/\text{кг К}$; m_{II}^m, m_{II}^{ep} – маса повітря, відповідно, в теплиці та грибниці, кг ; c_p – теплоємність повітря, $\text{Дж}/\text{кг К}$; $k_{n.inф}^{ep}$ – коефіцієнт повітрообміну інфільтрації грибниці, с^{-1} ; k_{II} – коефіцієнт повітрообміну між грибницею і зовнішнім середовищем, с^{-1} ; $D^{ep} = D_1 + k_{II} + k_{n.inф}^{ep}$; $\alpha_{оп}^m$ – коефіцієнт тепловіддачі від опалювальних приладів до повітря теплиці, $\text{Вт}/\text{м}^2 \text{К}$; $k_{ог}^m$ – коефіцієнт теплопередачі через огороження теплиці, $\text{Вт}/\text{м}^2 \text{К}$; $S_{ог}^m$ – площа поверхні огорожень теплиці, м^2 ; $S_{оп}^m$ – площа поверхні опалювальних приладів теплиці, м^2 .

На рисунку 4 наведені експериментальні дані та криві побудовані за залежностями (4), (5), (6), які розраховані для параметрів, при яких проводився експеримент.

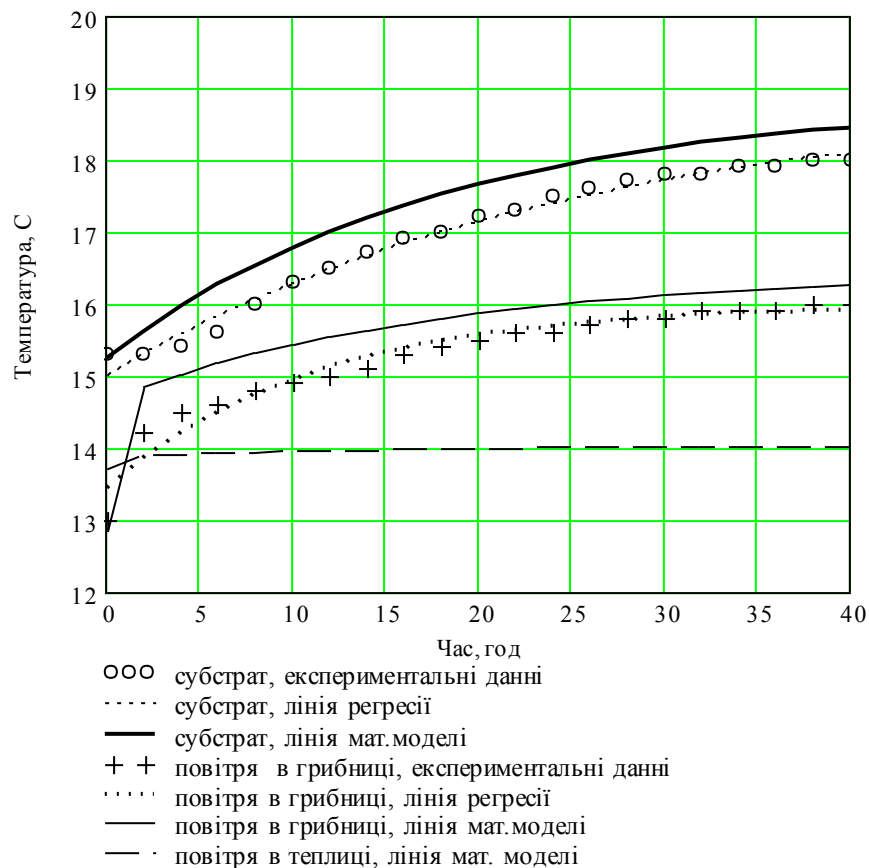


Рис. 4. Динаміка зміни температури субстрату та внутрішнього повітря в грибниці при зміні температури води в опалювальній системі від 50 до 60 $^\circ\text{C}$.

Концентрація CO_2 є одним із головних факторів, які впливають на процес

виращування грибів та овочевих культур в теплицях. Функціональна залежність між концентрацією вуглекислого газу у часі в системі „теплиця – грибниця” визначається диференціальним рівнянням, при аналітичному розв’язанні якого, отримано варіанти залежностей для різних режимів роботи ЗСВ. Різні режими роботи ЗСВ обумовлені тим, що в реальних умовах експлуатації повітрообміни в приміщеннях різні, а також при циркуляції повітря в замкнутому контурі вентиляції в ньому накопичуються шкідливості. Тому моделювалось чотири варіанти динаміки концентрації CO₂ в залежності від режиму роботи вентиляційних систем. Перші два варіанти стосувались режиму при наявності повітрообміну із зовнішнім середовищем і замкнутій та розімкнутій ЗСВ, два інші варіанти – при відсутності повітрообміну із зовнішнім середовищем і замкнутій та розімкнутій ЗСВ. Рівняння динаміки концентрації CO₂ та рівняння концентрації CO₂, яке встановлюється по закінченні перехідного процесу для кожного із варіантів, наведені в таблиці 1. Результати моделювання, при масі субстрату в грибниці 2100 кг і корисній площі теплиці 36 м² та параметрах, при яких проводився експеримент, наведено на рисунках 5, 6.

В розділі висвітлено програму і методику експериментальних досліджень. Метою цих досліджень є перевірка і уточнення отриманих для замкнутої системи вентиляції аналітичних залежностей між концентрацією CO₂, температурою повітря і субстрату та енергетичними і технологічними параметрами системи, а також визначення енергетичних показників системи для розробки методики розрахунку ЗСВ СЗГ.

Таблиця 1

Рівняння динаміки концентрації CO₂
в залежності від режиму роботи вентиляції

Режим роботи ЗСВ	При наявності повітрообміну із зовнішнім середовищем	При відсутності повітрообміну із зовнішнім середовищем
ЗСВ замкнута	$C = \frac{C_{нов}(L_{инф} + L_{M.1.2}m) + m(C_{менл}L_{M.1.1} + L_{CO_2,зр})}{L_{инф} + L_{M.1.1}m + L_{M.1.2}m} +$ $+ \frac{C_{нов}L_{M.1.1} \cdot m - m(C_{менл}L_{M.1.1} + L_{CO_2,зр})}{L_{инф} + L_{M.1.1}m + L_{M.1.2}m} \times$ $\times \exp(-(k_{инф} + k_e + k_c)\tau)$	$C = \frac{L_{CO_2,зр} m + C_{нов}L_{инф} + C_{менл}L_{M.1.1}m}{L_{инф} + L_{M.1.1}m} +$ $+ \left(C_{II} - \frac{L_{CO_2,зр} m + C_{нов}L_{инф} + C_{менл}L_{M.1.1}m}{L_{инф} + L_{M.1.1}m} \right) \times$ $\times \exp(-(k_{инф} + k_c)\tau)$
ЗСВ розімкнута	$C = C_{нов} + \frac{L_{CO_2,зр} m}{L_{инф} + L_{M.1.2}m} \times (1 - \exp(-(k_{инф} + k_e)\tau))$	$C = C_{нов} + \frac{L_{CO_2,зр} m}{L_{инф}} \times (1 - \exp(-k_{инф}\tau))$

де $C_{нов}$ – концентрація CO₂ в припливному повітрі, м³ CO₂/м³ пов; $L_{инф}$ – повітрообмін інфільтрації, м³/год.кг.маси; $L_{M.1.1}$ – повітрообмін між приміщеннями, м³/год.кг.маси; $L_{M.1.2}$ – повітрообмін із зовнішнім середовищем, м³/год.кг.маси; m –

маса субстрату, кг; $C_{тепл}$ – концентрація CO_2 в припливному повітрі із теплиці, $m^3 CO_2/m^3$; $L_{CO_2 зр}$ – виділення CO_2 з 1 кг маси субстрату, $m^3 CO_2/год.кг.маси$; τ – час, год; C_{II} – початкове значення концентрації CO_2 , $m^3 CO_2/m^3$ пов; $k_{інф}$ – кратність повітрообміну інфільтрації, $год^{-1}$; $k_в$ – кратність повітрообміну вентиляції, $год^{-1}$; $k_с$ – кратність повітрообміну між теплицями, $год^{-1}$;

Експериментальні дослідження передбачали: визначення статичних характеристик об'єкту для розрахунку теплового балансу системи; дослідження динаміки зміни концентрації CO_2 в ЗСВ; дослідження динаміки зміни температури повітря і субстрату в ЗСВ; визначення витрат енергії в системі споруд закритого ґрунту при роботі вентиляції в замкнутому і розімкнутому режимах; перевірка роботи ЗСВ в виробничих умовах; визначення енергетичних параметрів теплового насосу при роботі в СЗГ.

Методика експериментальних досліджень передбачала проведення робіт в умовах дослідної теплиці кафедри садово-паркового господарства УДАУ. Експериментальні данні показані на рисунках 5, 6.

Апроксимація дослідних даних за допомогою експоненціальної регресії:

$$f(x) = a \cdot e^{bx} + c, \quad (7)$$

де a , b , c – коефіцієнти експоненціальної регресії.

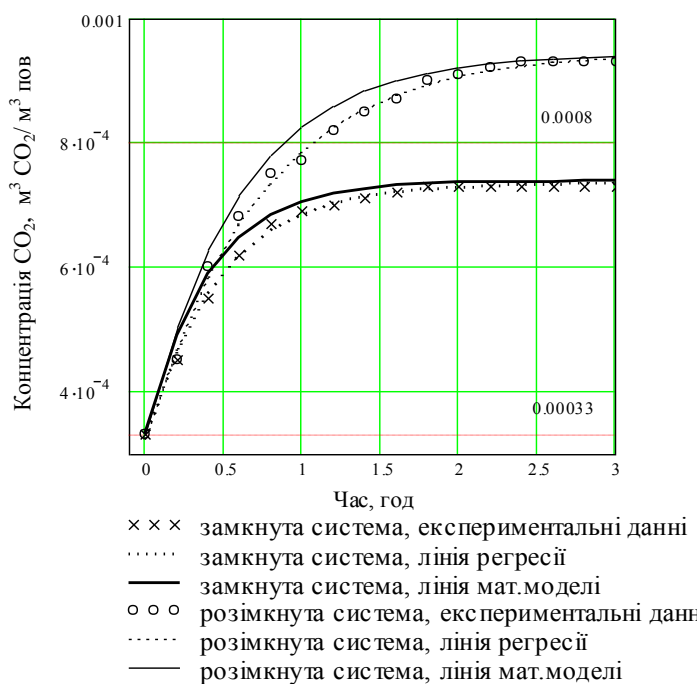


Рис. 5 Експериментальні та розрахункові характеристики концентрації CO_2 при наявності повітрообміну із зовнішнім середовищем.

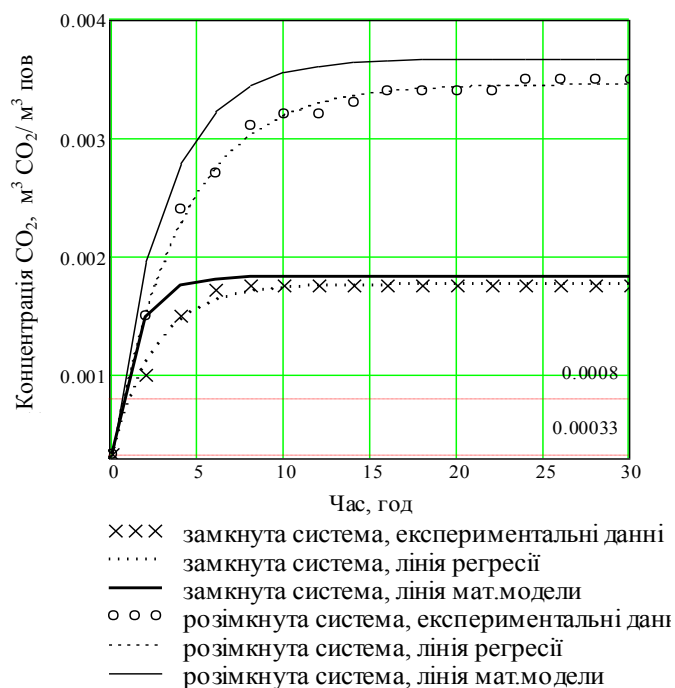


Рис.6. Експериментальні та розрахункові характеристики концентрації CO_2 при відсутності повітрообміну із зовнішнім середовищем.

Коефіцієнти експоненціальної регресії наведено в таблиці 2.

Таблиця 2.

Коефіцієнти експоненціальної регресії

Параметр		Коефіцієнти регресії		
		a	b	c
Температура внутрішнього повітря		-2,55	-0,089	15,99
Температура субстрату		-3,87	-0,041	18,89
Концентрація CO ₂ при наявності повітрообміну із зовнішнім середовищем	розімкнута система	-0,000623	-1,36	0,000947
	замкнута система	-0,000412	-2,1	0,000734
Концентрація CO ₂ при відсутності повітрообміну із зовнішнім середовищем	розімкнута система	-0,00313	-0,249	0,00346
	замкнута система	-0,000889	-0,462	0,00121

У четвертому розділі „Техніко–економічні показники використання енергозберігаючих режимів роботи опалювально–вентиляційного обладнання в спорудах закритого ґрунту” приведено результати виробничої перевірки, яка була проведена в ТОВ „Славута” Білоцерківського району Київської області з метою перевірки працездатності системи, де в цеху по вирощуванню грибів культивувалась культура гриба гливи звичайної (штам НК 35).

Виробнича перевірка проводилась протягом одного циклу вирощування гриба. Економічна ефективність ЗСВ визначалась по грибному приміщенню і приводилась наступним чином: одну добу система вентиляція працювала в замкнутому режимі, а наступну в розімкнутому режимі, на третю добу знову в замкнутому режимі тощо. Дані по замкнутій та розімкнутій системі були статистично оброблені та згруповані по температурах зовнішнього повітря. Економія теплової енергії за період перевірки (30 днів) становила 1980 кВт·г теплової енергії, що дозволило зменшити витрати на опалення і вентиляцію на 10,7%. При використанні ЗСВ економія теплової енергії складає 4032 кВт·г при річному економічному ефекті 4680 грн і терміну окупності 0,64 року.

Техніко-економічні розрахунки ефективності ЗСВ в СЗГ, які показані на прикладі трьох багатопролітних ґрунтових теплиці площею 0,5 га для підсобних господарств промислових підприємств, дозволяють отримати економію експлуатаційних витрат за цикл (90 днів) при роботі опалювальної системи на мазуті – 516 тис.грн.(18,8%), при роботі на вугіллі – 444 тис.грн. (17,5%) і при роботі на газі – 68 тис.грн. (4,6%) при терміні окупності експлуатаційних витрат, відповідно, – 0,19, 0,22, 1,5 роки відповідно.

Економічна ефективність використання ТН в СЗГ визначалась по економії експлуатаційних витрат. Дослідження показали, що використання ТН, при нині діючих цінах на обладнання, разом з опалювальною системою, яка працює на традиційному паливі, є вигідним лише при використанні останньої з електроопаленням. У всіх інших випадках тепловий насос використовувати не

вигідно. А в разі його встановлення мають місце збитки у вигляді відрахувань на амортизацію та поточний ремонт. Встановлено, що гранична вартість ТН при середньому значенні коефіцієнта утилізації тепла 2,7 відн.од. та використанні газового палива не повинна перевищувати 9300 грн, або 1700 грн/кВт встановленої потужності, дров – 2600 грн/кВт, вугілля – 2700 грн/кВт, мазуту – 4300 грн/кВт, пічного побутового палива – 7700 грн/кВт, електроенергії – 9000 грн/кВт.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. В дисертації вперше запропоновані і обґрунтовані режими роботи та параметри замкнутої системи опалення та вентиляції (ЗСВ) теплиць.

Проведений аналіз теплоутилізаційних та вентиляційних систем показав, що досі не були розроблені системи які дозволяли б одночасно вирішувати питання утилізації теплоти та газового підживлення рослин.

2. Запропонована математична модель тепломасообміну в ЗСВ, яка дозволяє в залежності від поточних значень зовнішніх температур визначати величину повітрообмінів або значення температур в приміщеннях і, відповідно до них, потужність опалювальної системи. Встановлено, що найбільша ефективність роботи системи спостерігається при: більш низьких температурах зовнішнього повітря; максимально більшій різниці температур в приміщеннях; роботі з нічним приміщенням в якому відсутні теплонадходження від сонячної радіації. В залежності від наведених умов, використання ЗСВ дає можливість зменшити витрати теплової енергії на 12 – 20%.

3. Для системи споруд „теплиця – грибниця”, для оцінки характеру перехідного процесу розроблено динамічну модель зміни температури субстрату та повітря в залежності від температур повітря в грибниці, теплиці та субстрату. Перехідний процес має експоненціальну залежність.

Розроблено динамічну модель зміни концентрації CO_2 , для оцінки характеру перехідного процесу, яка дозволяє визначати концентрацію CO_2 в одному із приміщень по завершенню перехідного процесу в залежності від концентрації CO_2 в припливному повітрі і із іншого приміщення та нормативних значень повітрообмінів. Перехідний процес має експоненціальну залежність.

Моделі адаптовані для варіантів роботи системи в замкнутому та розімкнутому режимах, а також при наявності та відсутності повітрообміну із зовнішнім середовищем. Результати експериментальних досліджень показали відповідність отриманих математичних моделей дослідним даним.

За результатами експериментальних досліджень отримані рівняння регресії, які встановлюють залежність зміни температури субстрату та повітря в теплицях, а також залежність концентрації CO_2 при різних режимах роботи в часі.

4. Розроблено структурно-функціональну схему ЗСВ. Запропоновано три варіанти побудови ЗСВ теплиць. Улаштування системи опалення та вентиляції в теплицях залежить від виду та типу споруд і дозволяє використовувати вентиляційні викиди теплиць і забезпечувати природній цикл теплоутилізації та газорегенерації. Основними елементами ЗСВ є грибне та рослинні приміщення, з'єднані між собою системою повітроводів таким чином, щоб забезпечити утилізацію теплоти та регенерацію повітря.

Обґрунтовано та розроблено структурно-логічну схему управління ЗСВ, яка передбачає управління технологічними параметрами (температурою, вологістю, концентрацією CO₂, освітленістю) в системі. Встановлено, що з точки зору автоматичного управління температурою субстрату та повітря, система являє собою двохемісний об'єкт. На основі моделі та експериментальних досліджень отримано передаточну функцію об'єкту.

5. Розроблений на основі рівнянь теплового балансу та теплопередачі алгоритм розрахунку параметрів теплового насосу, дозволяє при заданій температурі зовнішнього повітря і нормативних параметрах мікроклімату у виробничому приміщенні визначити його основні енергетичні параметри. Одержано рівняння регресії для визначення коефіцієнта утилізації тепла в залежності від температури зовнішнього повітря. Розроблена і реалізована за допомогою засобів обчислювальної техніки методика розрахунку граничної температури зовнішнього повітря, при якій можлива робота теплового насосу.

Обґрунтована ефективність використання ТН в ЗСВ. Так, при коефіцієнті утилізації тепла 2...3,5 відн.од., ТН можуть бути використані лише для модернізації систем опалення та вентиляції.

Обґрунтована гранична вартість ТН при використанні його замість обладнання, яке працює на традиційних видах палива. Так, наприклад, модернізація опалювально-вентиляційної системи на природному газі може проводитися при вартості ТН не більше 1700 грн/кВт встановленої потужності ТН.

6. Розроблено методику інженерного розрахунку замкнутої системи опалення та вентиляції теплиць, основою якої є система рівнянь теплових балансів приміщень, та розроблено програмне забезпечення для інженерного розрахунку ЗСВ.

7. Обґрунтовано співвідношення розмірів теплиць в ЗСВ. Так, на 1 га площі теплиці, для забезпечення газового підживлення рослин, необхідно 100–250 т субстрату гливи (50–150 т субстрату шампінйона) або, що 1 т субстрату гливи здатна забезпечити двоокисом вуглецю 25–160 м² площі теплиці (1 т шампінйона – 50–200 м²).

8. Техніко-економічні розрахунки показали, що економія експлуатаційних витрат при використанні ЗСВ в теплицях площею 0,5 га складає, при роботі на: мазуті –

516 тис.грн (18,8%); вугіллі – 444 тис.грн (17,5%); газі – 68 тис.грн (4,6%), при терміну окупності додаткових капітало-вкладень, відповідно, 0,19, 0,22, 1,5 роки.

9. Виробнича перевірка проводилась у виробничому приміщенні ТОВ „Славута” Білоцерківського району Київської області. При використанні ЗСВ економія теплової енергії склала 4032 кВт·г (10,7%), при річному економічному ефекті 4680 грн і терміну окупності 0,64 року.

ПУБЛІКАЦІЇ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Кепко О.І. Моделювання енергозберігаючих режимів роботи опалювально-вентиляційного обладнання в спорудах закритого ґрунту при вирощуванні білкової продукції. // Механізація та електрифікація сільського господарства. Вип.83. – Глеваха. ННЦ ІМЕСГ, 2000. – С. 199–202.

2. Голуб Г.А., Богданович Л.С., Клепанда О.С., Філіппов Е.Б., Кепко О.І. Енергетичні параметри теплового насосу в системі опалення споруд закритого ґрунту // Наукові праці. Таврійська державна агротехнічна академія. – Вип. 5. – Мелітополь: ТДАТА, 2002. – С. 46–50. *(обробка експериментальних даних)*

3. Голуб Г.А., Кепко О.І. Математична модель теплонасосної системи теплопостачання споруд закритого ґрунту // Вісник Харківського державного технічного університету сільського господарства. Вип.10 – Харків. ХДТУСГ, 2002. – С. 275–278. *(розробка методичної частини)*

4. Жоров В.І., Кепко О.І. Визначення вартісних еквівалентів носіїв теплової енергії // Вісник аграрної науки Причорномор'я. Вип. 4(24). Миколаїв. – 2003. – С. 214–218. *(визначення відносних вартісних еквівалентів носіїв теплової енергії)*

5. Кепко О.І. Математична модель опалювально-вентиляційної системи замкнутого повітрообміну між окремими приміщеннями в закритому ґрунті // Збірник наукових праць Національного аграрного університету. Том XV. – К., 2003. – С. 413-419.

6. Голуб Г.А., Кепко О.І. Динамічні характеристики грибного приміщення в замкнутій системі вентиляції. // Електрифікація та автоматизація сільського господарства. – № 4(9). – 2004. – С 51–57. *(формулювання та аналітичне рішення диференціальних рівнянь).*

7. Кепко О.І. Динаміка зміни концентрації CO₂ в системі споруд „рослинна теплиця – грибниця” // Матеріали Міжнародної науково-практичної конференції Агромех–2004, 22-24 вересня 2004 р. – Львів: Львівський державний аграрний університет, 2004. – С. 97–103.

8. Кепко О.І. Динаміка зміни температури субстрату та повітря в замкнутій системі вентиляції споруд закритого ґрунту // Зб. наук. пр. Уманського ДАУ. Ч.1. – Умань, 2004. – Вип.. 59. – С 271–279.

9. Патент № 57956 А Україна, МКВ А01G9/24. Спосіб вентиляції споруд

закритого ґрунту / Гірченко М.Т., Голуб Г.А., Жоров В.І., Вдовенко С.А., Кепко О.І., Шаповалов Л.В. (Україна). – №2002021688; Опубл. 15.07.2003. Бюл. № 7. (*частка авторів однакова*)

10. Кепко О.І., Гірченко М.Т. Пути экономии энергии в сооружениях защищённого грунта. // Тезисы докладов к XX конференции молодых учёных „Актуальные вопросы обеспечения АПК„. – Аскания-Нова–Херсон. Институт животноводства степных районов им. М.Ф. Иванова „Аскания-Нова”, – 1993. – С.118.

11. Гірченко М.Т., Жоров В.І., Шаповалов Л.В., Кепко О.І. Енергозбереження в приміщеннях закритого ґрунту для вирощування овочевої та вітамінної продукції. // Тези доповідей науково-технічної конференції „Енергозберігаючі технології та технічні засоби для виробництва сільськогосподарської продукції”. – Глеваха. ІМЕСГ УААН, – 1993. – С.87–89.

АНОТАЦІЯ

Кепко О. І. Енергозберігаючі режими роботи замкнутої системи опалення та вентиляції теплиць. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.14.06 – Технічна теплофізика та промислова теплоенергетика. – Національний університет харчових технологій, Київ, 2005.

Дисертацію присвячено питанням енергозбереження в спорудах закритого ґрунту (СЗГ). Визначено структуру енергоспоживання в СЗГ з точки зору вибору найбільш доцільного енергоносія, та співвідношення енергоносіїв в теплових процесах. Розроблено методику визначення вартісних еквівалентів носіїв теплової енергії. Обґрунтовано доцільне співвідношення різних видів енергії в закритому ґрунті, включаючи відновлювальну. Розроблено на основі рівнянь теплового балансу та теплопередачі алгоритм розрахунку параметрів теплового насосу, який дозволяє при заданій температурі зовнішнього повітря і нормативних параметрах мікроклімату у виробничому приміщенні визначати його основні енергетичні параметри. Розроблений спосіб вентиляції СЗГ (замкнута система вентиляції), який включає повітрообмін в світлий час доби між теплицею з вирощуванням рослин при природному освітленні та культиваційним приміщенням для вирощування грибів, та повітрообмін в темний час доби, який здійснюється між приміщенням, де рослини вирощують при штучному освітленні і культиваційним приміщенням для грибів. Розроблено статичну модель залежності повітрообмінів і температури в приміщеннях системи „рослинна теплиця – грибна теплиця” від потужності опалювальної системи. Для системи розроблено динамічну модель зміни температури субстрату та повітря, а також динамічну модель зміни концентрації CO₂, яка дозволяє визначати концентрацію CO₂ в одному із приміщень по завершенню перехідного процесу в залежності від концентрації CO₂ в припливному

повітрі із іншого приміщення та нормативних значень повітрообмінів. Розроблено методику інженерного розрахунку ЗСВ. Ефективність роботи ЗСВ обґрунтовано теоретично і підтверджена практично. Основні результати праці призначені для застосування в овочівництві закритого ґрунту.

Ключові слова: споруди закритого ґрунту, замкнута система вентиляції, теплогазообмін, тепловий насос.

АННОТАЦИЯ

Кепко О. И. Энергосберегающие режимы работы замкнутой системы отопления и вентиляции теплиц. – Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.14.06 – Техническая теплофизика и промышленная теплоэнергетика. – Национальный университет пищевых технологий, Киев, 2005.

Диссертация посвящена вопросам энергосбережения в сооружениях защищенного грунта (СЗГ). В работе детально рассмотрена структура энергопотребления в СЗГ с точки зрения выбора наиболее целесообразного энергоносителя и соотношения энергоносителей в тепловых процессах. Разработана методика определения стоимостных эквивалентов носителей тепловой энергии, которая позволяет проводить выбор топлива в зависимости от его стоимости и затрат на транспортирование. Обосновано целесообразное соотношение разных видов энергии в защищенном грунте, включая возобновляемую. Разработан на основе уравнений теплового баланса и теплопередачи алгоритм расчета параметров теплового насоса, который позволяет при заданной температуре внешнего воздуха и нормативных параметрах микроклимата в производственном помещении определить его основные энергетические параметры. Получены уравнения регрессии для определения коэффициента утилизации тепла в зависимости от температуры внешнего воздуха. Разработана структурно-функциональная схема ЗСВ. Предложены три варианта построения ЗСВ в СЗГ. Разработана статическая модель зависимости воздухообмена от мощности отопительной системы, которая представляет собой систему линейных уравнений тепловых балансов грибного и растительного помещений. В предложенном виде модель позволяет в зависимости от текущих значений температур определить величину воздухообменов, и в зависимости от них – мощность отопительной системы. Для системы „растительная теплица – грибная теплица” разработана динамическая модель изменения температуры субстрата и воздуха в зависимости от температур воздуха в грибнице и теплице и субстрата. Установлено, что с точки зрения автоматического управления температурой субстрата и воздуха, система „растительная теплица – грибная теплица” с водной системой отопления представляет собой двухёмкостный объект. На основе модели теоретически и экспериментально определена

передаточная функция объекта. Разработана динамическая модель изменения концентрации CO_2 , которая позволяет определять концентрацию CO_2 в одном из помещений по завершению переходного процесса в зависимости от концентрации CO_2 в приточном воздухе из другого помещения и нормативных значений воздухообменов. Обоснована и разработана структурно-логическая схема управления ЗСВ, которая предусматривает управление технологическими параметрами (температурой, влажностью, концентрацией CO_2 , освещенностью) в системе. Разработана методика инженерного расчета ЗСВ, которая включает в себя расчет тепловых балансов помещений в ЗСВ, гидравлический расчет воздухопроводов и расчет производительности теплового насоса. Обоснована эффективность использования ТН в системах вентиляции сооружений защищенного грунта.

Предложенная в работе ЗСВ прошла производственную проверку. Результаты проверки показали соответствие полученных математических моделей экспериментальным данным.

Производственная проверка проводилась в помещении ООО „Славута” Белоцерковского района Киевской области. Результаты производственной проверки подтвердили теоретические и экспериментальные исследования параметров ЗСВ в СЗГ, а также уменьшение энергозатрат на отопление и вентиляцию помещений.

Ключевые слова: сооружения защищенного грунта, замкнутая система вентиляции, теплогазообмен, тепловой насос.

ANNOTATION

Керко О. Grounds for energy-saving regimes of closed heating and ventilation system of greenhouse facilities (GHF). A manuscript.

The dissertation for conferring a scientific degree of a candidate of technical sciences in specialty 05.14.06 – Technical thermophysic and industrial electrical heat engineering. – National university of food technologies, Kyiv, 2005.

The dissertation deals with the issue of energy-saving in GHF. The structure of energy consumption in GHF as a better choice of an energy-carriers as well as correlation among energy-carriers in heat-processes was defined. The methods of cost equivalent definition of energy-carriers were worked out. Proper relation of various kinds of energy in GHF, including the renovative one, were substantiated. The algorithm of calculation of heat pump parameters was worked out bases on heat balance equation and heat transmittance. It allows determining its main energy parameters under fixed air temperature end standard microclimate parameters in production facilities.

Ventilation method of GHF which includes air-exchange at day between a greenhouse with crop cultivation under natural lighting and production facilities for mushroom cultivation was worked out. This method studied air-exchange at night between the production area for plant cultivation under artificial lighting and that for mushroom