



**ЗБІРНИК НАУКОВИХ ПРАЦЬ  
НАЦІОНАЛЬНОГО АГРАРНОГО  
УНІВЕРСИТЕТУ**

**"МЕХАНІЗАЦІЯ  
СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОГО  
ВИРОБНИЦТВА"**

**Том XV**

**2003**

ISBN 966-7906-06-X  
УДК 631:001 /07/

Збірник наукових праць Національного аграрного університету "Механізація сільськогосподарського виробництва". – К.: НАУ, 2003. – Том XV. – 469 с.

Proceedings of National Agricultural University of Ukraine "Mechanization of Agricultural Production". – Kyiv: NAUU, 2003. – Vol. XV. – 469 p.

Наведено результати наукових досліджень з актуальних проблем механізації сільського господарства. Проаналізовано та досліджено широке коло питань з механізації тваринництва, рослинництва, переробки сільськогосподарської продукції та експлуатації машинно-тракторних агрегатів.

Розраховано на наукових працівників, конструкторів сільськогосподарської техніки, а також аспірантів і студентів відповідного профілю.

В Збірнику містяться матеріали Міжнародної наукової конференції MOTROL '03.

*Редакційна колегія:* чл.-кор. УААН, проф. **Войтюк Д.Г.** (відповідальний редактор); чл.-кор. УААН, д.т.н., проф. **Булгаков В.М.** (відповідальний редактор); д.т.н., проф. **Бойко А.І.**; к.т.н., проф. **Дацишин О.В.**; д.т.н., проф. **Демидко М.О.**; д.т.н., проф. **Кравець І.А.**; к.т.н., доц. **Литвинов О.І.** (відповідальний секретар); к.т.н., проф. **Мельник І.І.**; д.т.н., проф. **Обухова В.С.**; д.т.н., проф. **Опальчук А.С.**; д.т.н., проф. **Ревенко І.І.**; д.т.н., проф. **Цурпал І.А.** (заступник відповідального редактора); д.т.н., проф. **Філіппов А.З.**; к.т.н., доц. **Іщенко В.В.** (відповідальний секретар).

*Відповідальний за випуск:* чл.-кор. УААН, д.т.н., проф. **Булгаков В.М.**

Рекомендовано до друку рішенням вченої ради Навчально-наукового технічного інституту (Протокол № 7 від 21.01.2003 р.).

ISBN 966-7906-06-X

© Національний аграрний  
університет, 2003

УДК 631.22:631.371:628.8

## МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ОПАЛЮВАЛЬНО-ВЕНТИЛЯЦІЙНОЇ СИСТЕМИ ЗАМКНУТОГО ПОВІТРООБМІНУ МІЖ ОКРЕМИМИ ПРИМІЩЕННЯМИ В ЗАКРИТОМУ ҐРУНТІ

Кепко О.І.

Уманська державна аграрна академія

*Математична модель опалювально вентиляційної системи замкнутого повітрообміну між окремими приміщеннями а закритому ґрунті. при вирощуванні білкової та вітамінної продукції.*

**Вступ.** В період підвищення цін на енергоносії та їх коливанні особливо актуальним стає питання енергозбереження, яке включає в себе багато факторів, що дозволяють зменшити енерговитрати і тим самим зменшити їх долю у собівартості продукції сільськогосподарського виробництва.

Особливо гостро питання енергозбереження стоїть у овочівництві закритого ґрунту, яке в Україні є традиційно енерговитратним. Тому розробка сучасних технологій при вирощуванні овочів у спорудах закритого ґрунту (СЗГ) є питанням актуальним.

При розробці сучасних технологій виділяють кілька основних і допоміжних напрямків. Один з цих напрямків розглядає питання оптимізації роботи опалювально-вентиляційних систем в багатофакторному середовищі СЗГ. Компромісним рішенням в цьому питанні може бути мінімізація витрат енергії при збереженні рівня прибутковості.

Основною особливістю СЗГ є багатофакторне середовище яке об'єднане поняттям мікроклімату, опалювально-вентиляційна система є невід'ємною складовою цього середовища при цьому моделювання режимів роботи цієї системи при умові складності останнього стає фактором не тільки бажаним, а під час і необхідним.

**Результати досліджень.** Запропонована математична модель описує роботу системи замкнутого повітрообміну між окремими приміщеннями (рис. 1.) шляхом більш повного використання тепла і економії енергії за рахунок створення додаткових контурів циркуляції повітря.

Принцип роботи запропонованої системи полягає в наступному: система складається із трьох приміщень, у денній теплиці вирощуються рослини а гриби в затемненому приміщенні, при цьому між приміщеннями відбувається перекачування повітря яке проводиться у світлу пору доби, додатково вирощують рослини у безвіконному культивацийному приміщенні із світлонепроникним покриттям в темну пору доби при повністю штучному освітленні і в темну пору доби перекачують повітря між цим приміщенням і затемненим приміщенням, призначеним для вирощування грибів, а перекачування повітря між денною теплицею і приміщенням для вирощування грибів припиняють. При цьому

перекривають повітря заслінками “1”, які повертають на ніч вверх, як показано на малюнку. Тим самим припиняється подача повітря в теплицю (того повітря, яке насичене  $\text{CO}_2$  в приміщенні для грибів) і забезпечується подача в приміщення зі штучним освітленням. Зранку ж, коли з'являється сонячне світло, заслони “1” повертаються вниз, в результаті чого на весь денний час, в потрійну систему замість приміщення із штучними джерелами світла вмикається денна теплиця (також поглинаюча від грибів  $\text{CO}_2$  потрібний для підживлення рослин). З свого боку тепличні рослини постачають в приміщення, де вирощуються гриби, кисень. Тобто, в цьому випадку відбувається утилізація  $\text{CO}_2$  і забезпечується подвійний вихід зеленої продукції: із теплиці (вдень), і з приміщення, де рослини вирощуються вночі при штучному освітленні – вночі.

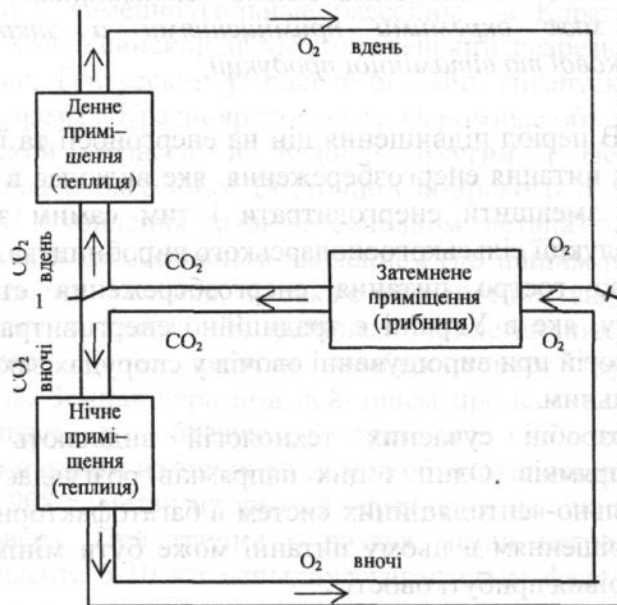


Рис. 1. – Схема замкнутого повітребміну

Запропонована система вирішує одночасно два питання: перше – економія теплової енергії, оскільки тепер тепло немає необхідності викидати назовні (вентиляційна система в даному випадку працює цілодобово, без роз'єднувань); друге – газове взаємопідживлення рослин та грибів.

Тип дихання рослин відомий, при проходженні фотосинтезу вони поглинають  $\text{CO}_2$  і виділяють кисень. В свою чергу гриби поглинають  $\text{O}_2$  і виділяють вуглекислий газ. Слід відмітити, що по інтенсивності дихання грибам належить беззаперечний рекорд.

Математичне моделювання роботи такої системи повітребміну дає можливість оцінити ефективність роботи опалювально-вентиляційного обладнання та оцінити значення технологічних параметрів мікроклімату.

Розглянемо роботу системи на прикладі математичної моделі тепломасообміну між приміщеннями “трайдему”. Для розробки математичної

моделі скористуємося рівнянням теплового балансу СЗГ [2]:

$$Q_{Т.Н.} - Q_{Т.втр.} = Q_{надл.} \quad (1)$$

де  $Q_{Т.Н.}$  – загальні теплонадходження в приміщення;  $Q_{Т.втр.}$  – загальні втрати теплоти з приміщення;  $Q_{надл.}$  – надлишок (“–” дефіцит) теплоти в приміщенні.

Позитивне значення  $Q_{надл.}$  визначає потужність системи опалення – негативне потужність системи кондиціонування.

$Q_{Т.Н.}$  визначаємо як доданок теплонадходжень від сонячної радіації  $Q_{с.р.}$ , субстрату  $Q_{суб}$  та системи освітлення  $Q_{осв.}$ :

$$Q_{Т.Н.} = Q_{с.р.} + Q_{суб} + Q_{осв.} \quad (2)$$

$Q_{Т.втр.}$  визначаємо як доданок тепловтрат через огорожуючі конструкції  $Q_{т.в.ог.}$ , інфільтрацію  $Q_{інф.}$ , випаровування  $Q_{вип.}$  та підігрів припливного повітря  $Q_{п.пов.}$ :

$$Q_{Т.втр.} = Q_{т.в.ог.} + Q_{інф.} + Q_{вип.} + Q_{п.пов.} \quad (3)$$

Підставивши формули (2) і (3) в тепловий баланс (1) отримаємо:

$$Q_{надл.} = Q_{с.р.} + Q_{суб} + Q_{осв.} - Q_{т.в.ог.} - Q_{інф.} - Q_{вип.} - Q_{п.пов.} \quad (4)$$

Теплоповітряний баланс буде мати вигляд: [1]

по тепловому потоку –

$$Q_{надл.} + Q_{овв} + Q_{п.пов.} + Q_{пр} - Q_{в} = 0 \quad (5)$$

по повітрю –

$$G_{вип.} - G_{надх} = 0$$

де  $Q_{овв}$  – потужність опалювально-вентиляційної системи  $Q_{овв} = Q_{надл.}$ ;  $Q_{п.пов.}$  – потік теплоти на підігрів припливного повітря  $Q_{п.пов.} = Q_{в} - Q_{пр}$ ;  $Q_{пр}$  – потік теплоти з припливним повітрям;  $Q_{в}$  – потік теплоти з відхідним повітрям;  $G_{вип.}$  – витяжка (видалення) повітря з приміщення;  $G_{надх}$  – приплив (надходження) повітря в приміщення.

Виділивши із  $Q_{Т.втр.}$  (3) теплоту яка витрачається на підігрів припливного повітря  $Q_{п.пов.}$  і розділивши останню на дві складові  $Q_{в}$  і  $Q_{пр}$  отримаємо тепловий баланс:

$$-Q_{Т.Н.} + Q_{Т.втр.} + Q_{п.пов.} - Q_{пр} + Q_{в} = 0 \quad (6)$$

В системі, що розглядається, є три приміщення кожне з яких має свій тепловий та теплоповітряний баланс, об’єднавши їх в систему замкнутого повітрообміну рівняння теплового балансу буде мати вигляд:

$$\begin{cases} Q_{Т.Н.1} - Q_{Т.втр.1} - Q_{надл.1} = 0 \\ Q_{Т.Н.2} - Q_{Т.втр.2} - Q_{надл.2} = 0 \\ Q_{Т.Н.3} - Q_{Т.втр.3} - Q_{надл.3} = 0 \end{cases} \quad (7)$$

або

$$\begin{cases} -Q_{Т.Н.1} - Q_{овв.1} + Q_{т.в.1} - Q_{пр.1} + Q_{в.1} = 0 \\ -Q_{Т.Н.2} - Q_{овв.2} + Q_{т.в.2} - Q_{пр.2} + Q_{в.2} = 0 \\ -Q_{Т.Н.3} - Q_{овв.3} + Q_{т.в.3} - Q_{пр.3} + Q_{в.3} = 0 \end{cases} \quad (8)$$

де цифрами 1,2,3 позначені, відповідно, грибне приміщення, денне рослинне та

нічне рослинне приміщення.

Із вищенаведеного опису видно, що в один і той же час працює лише два приміщення, а саме: вдень – грибне та денне рослинне приміщення; вночі – грибне та нічне рослинне приміщення, тому можливо розглядати систему із двох рівнянь – окремо для денної та нічної частин доби.

Для прикладу розглянемо світлу частину доби зробивши припущення, що повітрообмін в обох приміщеннях однаковий  $G_{M.1}=G_{M.2}=G_M$ :

$$\begin{cases} -Q_{T.H.1} - Q_{ons.1} + Q_{m.s.1} - Q_{np.1} + Q_{s.1} = 0 \\ -Q_{T.H.2} - Q_{ons.2} + Q_{m.s.2} - Q_{np.2} + Q_{s.2} = 0 \end{cases} \quad (9)$$

або

$$\begin{cases} -Q_{T.H.1} - Q_{ons.1} + Q_{m.s.1} - C_p \cdot G_M \cdot t_{зв.1} + C_p \cdot G_M \cdot t_{s.1} = 0 \\ -Q_{T.H.2} - Q_{ons.2} + Q_{m.s.2} - C_p \cdot G_M \cdot t_{зв.2} + C_p \cdot G_M \cdot t_{s.2} = 0 \end{cases} \quad (10)$$

де  $C_p$  – теплоємність повітря;  $G_M$  – повітрообмін,  $t_s$ ,  $t_{зв}$  – температура, відповідно, внутрішнього та зовнішнього повітря.

Температура вхідного повітря для рослинної теплиці буде такою ж як внутрішня температура в грибниці і навпаки температура припливного повітря для грибниці буде дорівнювати температурі внутрішнього повітря в рослинній теплиці:

$$\begin{cases} -Q_{T.H.1} - Q_{ons.1} + Q_{m.s.1} - C_p \cdot G_M \cdot t_{s.2} + C_p \cdot G_M \cdot t_{s.1} = 0 \\ -Q_{T.H.2} - Q_{ons.2} + Q_{m.s.2} - C_p \cdot G_M \cdot t_{s.1} + C_p \cdot G_M \cdot t_{s.2} = 0 \end{cases} \quad (11)$$

В реальних умовах, при вирощуванні різних культур повітрообмін в приміщеннях фактично різний. Також необхідно враховувати те, що в повітрі при його циркуляції в замкнутій системі накопичуються шкідливості. Враховуючи це математична модель повинна враховувати повітрообмін із зовнішнім середовищем.

Припустимо, що по технологічним вимогам повітрообмін в приміщеннях  $G_{M.1}$  і  $G_{M.2}$  різний, в грибному приміщенні більший в рослинному менший. Тоді в першому приміщенні виникає надлишок  $G_M$  на базі якого необхідно організувати повітрообмін з навколишнім середовищем. Організуємо його в першому приміщенні. В цьому випадку після математичних перетворень отримаємо систему:

$$\begin{cases} -Q_{T.H.1} - Q_{ons.1} + Q_{m.s.1} - C_p \cdot [G_{M.1.1}(t_{s.2} - t_{s.1}) + G_{M.1.2}(t_{зв} - t_{s.1})] = 0 \\ -Q_{T.H.2} - Q_{ons.2} + Q_{m.s.2} - C_p \cdot G_{M.1.1} \cdot (t_{s.1} - t_{s.2}) = 0 \end{cases} \quad (12)$$

де  $G_{M.1.1}$  – повітрообмін між приміщеннями;  $G_{M.1.2}$  – повітрообмін з зовнішнім середовищем. Аналогічно запишеться система і для грибного приміщення з нічною теплицею.

В даному вигляді модель дозволяє визначити значення повітрообмінів між приміщеннями та з зовнішнім середовищем при зміні  $Q_{ons.2}$ . При проведенні відповідних перетворень та внесенні доповнень можна визначити і інші параметри системи.

Приклад застосування імітаційної моделі системи (12) в якій в грибниці вирощується глива, а в рослинній теплиці вигоночна культура – шпінат показан на рис. 2, де пряма  $G_{M.1.1}$  це повітрообмін між приміщеннями, а пряма  $G_{M.1.2}$

повітрообмін з зовнішнім середовищем. Розрахунок проводиться для зимового періоду ( $t_{зв} = -21^{\circ}\text{C}$ ,  $t_{в1} = 20^{\circ}\text{C}$ ,  $t_{в2} = 15^{\circ}\text{C}$ ).

З рис. 2 видно, що при зменшенні потужності  $Q_{опв.2}$  повітрообмін між приміщеннями  $G_{М.1.1}$  збільшується, а з зовнішнім середовищем  $G_{М.1.2}$  – зменшується. Таким чином величину повітрообмінів можна регулювати за допомогою зміни потужності опалювальної установки. Конкретні значення повітрообмінів визначаються технологією вирощування відповідних культур та ступенем завантаженості приміщень.

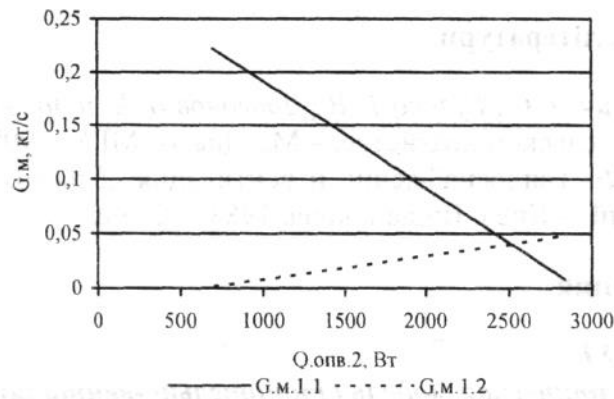


Рис. 2. – Залежність повітрообмінів від потужності опалювальної системи

Порівняльна залежність сумарної потужності розімкнутої та замкнутої системи від температури зовнішнього середовища, згідно наведеного прикладу, показана на рис. 3. Наприклад при зовнішній температурі  $-21^{\circ}\text{C}$  теплова потужність замкнутої системи зменшується на 392 Вт відносно розімкнутої системи.

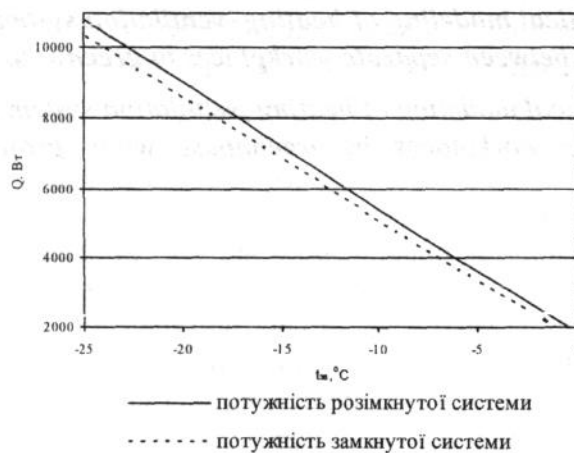


Рис. 3. – Залежність потужності системи опалення від температури зовнішнього



**Висновки.**

Дослідження проведені за допомогою імітаційної математичної моделі системи повітрообміну показують, що найбільша ефективність роботи системи спостерігається: при низьких температурах зовнішнього повітря; при максимально більшій різниці температур в приміщеннях (згідно технологічних вимог), а також при роботі з нічним приміщенням в якому відсутні теплонадходження від сонячної радіації. Необхідно також відмітити, що для отримання максимального ефекту система повинна бути автоматизована.

**Список літератури.**

1. Герасимович Л. С., Гулько Т. В., Драганов Б. Х. и др. Задачник по применению теплоты в сельском хозяйстве. – М.: Диалог МГУ, 1999. – 248 с.
2. Строй А.Ф. Теплоснабжение и вентиляция сельскохозяйственных зданий и сооружений. – Киев: Вища школа, 1983. – 215 с.

**Аннотация**

**Керко О.І.**

**Математическая модель отопительно-вентиляционной системы замкнутого воздухообмена между отдельными помещениями в защищённом грунте**

Математическая модель отопительно-вентиляционной системы замкнутого воздухообмена между отдельными помещениями в защищённом грунте при выращивании белковой и витаминной продукции.

**Summary**

**Керко О.І.**

**Mathematical modeling of heating-ventilation system of reserved head exchange between separate workplaces in greenhouse**

Mathematical modeling of heating-ventilation system of reserved head exchange between separate workplaces in greenhouse while growing protein and vitamin products.



<b>Дудчак В.П., Дуганець В.І.</b> ПРАЦЕЗДАТНІСТЬ ЗАГЛИБЛЮВАЛЬНИХ ЕЛЕКТРОНАСОСІВ І РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ ВІДНОВЛЕННЯ ПІДШИПНИКІВ КОВЗАННЯ ПОЛІМЕРНИМИ КОМПОЗИЦІЙНИМИ МАТЕРІАЛАМИ.....	398
<b>Виннов А.С., Мисько В.В., Костюченко В.А., Васьков В.И., Смолинский С.В.</b> РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ ДВИЖЕНИЯ В ПОЛЕ ЗАЗОРА ПОДШИПНИКА ПОВОРОТА ПОГРУЗЧИКА ПРЯМОЙ ПОГРУЗКИ.....	403
<b>Кучин В.Д.</b> НЕРАЗГАДАННАЯ ТАЙНА ТУНГУССКОГО ВЗРЫВА .....	410
<b>Кепко О.І.</b> МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ОПАЛЮВАЛЬНО-ВЕНТИЛЯЦІЙНОЇ СИСТЕМИ ЗАМКНУТОГО ПОВІТРООБМІНУ МІЖ ОКРЕМИМИ ПРИМІЩЕННЯМИ В ЗАКРИТОМУ ҐРУНТІ.....	413
<b>Булгаков В.М., Завгородній А.Ф., Смолінський С.В., Березовий М.Г., Нестеровський О.В.</b> ОСНОВИ РОЗРАХУНКУ ВДОСКОНАЛЕНОЇ КОНСТРУКЦІЇ СПІРАЛЬНОГО СЕПАРАТОРА КАРТОПЛЯНОГО ВОРОХУ .....	419
<b>Горбовий А.Ю., Лімонт А.С.</b> ГУСТОТА І ВИРІВНЯНІСТЬ СТЕБЛОСТОЮ ЛЬОНУ-ДОВГУНЦЯ ЯК СКЛАДОВІ ТЕХНОЛОГІЧНОГО РЕГЛАМЕНТУ МЕХАНІЗОВАНОГО ЗБИРАННЯ.....	428
<b>Дуганець В.І., Бендера І.М.</b> ШЛЯХИ УДОСКОНАЛЕННЯ СИСТЕМИ ПІДГОТОВКИ ПЕДАГОГІЧНИХ КАДРІВ ДЛЯ НАВЧАЛЬНИХ ЗАКЛАДІВ З ПРОФЕСІЙНОЇ ОСВІТИ. (З ДОСВІДУ РОБОТИ ПОДІЛЬСЬКОЇ ДЕРЖАВНОЇ АГРАРНО-ТЕХНІЧНОЇ АКАДЕМІЇ) .....	433
<b>Ловейкін В.С., Ярошенко В.Ф.</b> ОСОБЛИВОСТІ ДИНАМІКИ ТРАНСПОРТЕРА-ЗМІШУВАЧА МОБІЛЬНОГО КОРМОРОЗДАВАЧА .....	444
<b>Чумак В.К., Молодик Л.П., Моргун А.М., Шаповал Л.І.</b> ОРГАНІЗАЦІЙНО-ЕКОНОМІЧНІ ПЕРЕДУМОВИ СТВОРЕННЯ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОГО РЕМОНТНО-ОБСЛУГОВУЮЧОГО КООПЕРАТИВУ .....	450
<b>Чернушенко Й.І., Семенюк М.П.</b> ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ РОЗРАХУНКОВИХ МОДЕЛЕЙ СТОСОВНО ЗАДАЧ СТІЙКОСТІ ХВИЛЕПОДІБНИХ ОБОЛОНОК .....	454