

Модель об'єкту керування мехатронної системи мікроклімату теплиці середнього об'єму

Є.Ю. Синицина¹ • С.Ю. Космина¹

Received: 3 November 2023 / Revised: 30 November 2023 / Accepted: 24 December 2023

Анотація. Різкі зміни температури та вологості повітря негативно впливають на вирощування сільськогосподарських культур. Сучасні методи регулювання мікроклімату тепличних об'єктів зводяться до найпростішого – регулювання потоку та температури повітряних мас. Метою роботи є створення і тестування (перевірка правдоподібності) спрощеної моделі мікроклімату теплиці середнього об'єму. Спрощена модель теплиці враховує основні процеси, що відбуваються під впливом зовнішніх чинників (процеси повітря-обміну, масо-обміну, волого-обміну, теплообміну), а також враховано геометричні та просторові характеристики об'єкту. Кожний тестовий експеримент передбачає визначення впливу тільки одного параметру при фіксованих значеннях всіх інших. В програмному забезпеченні Ansys розроблено спрощену еталонну модель зміни параметрів мікроклімату (температури, швидкості та тиску повітря). За допомогою комп'ютерного моделювання температурних полів та швидкостей проведено аналіз для визначення можливості застосування моделі в системі керування. Проведено аналіз характеристик мікроклімату при стабілізації тиску, швидкості та температури повітря. Результати дослідження і розроблена модель придатні для використання в алгоритмах керування мехатронною системою теплиці для врахування циклічних добових змін параметрів.

Ключові слова: мікроклімат, спрощена модель, моделювання, тепло-масообмінні процеси, тепличний об'єкт, температурне поле, швидкість потоку.

Вступ

Тепличне господарство є більш надійним і дозволяє значно подовжити термін вирощування продуктів харчування в кліматичному поясі України. Це підвищує його ефективність, особливо в сучасних умовах змін клімату та втрати частини сільгосп-земель.

Показники тепличного господарства в значній мірі визначаються системою мікроклімату, яка забезпечує тривале вирощування продукції з мінімальними втратами та витратами енергії. Система мікроклімату – це система в якій задіяно процеси повітря-обміну, масо-обміну, волого-обміну, теплообміну, а також засоби автоматичного керування. Вона являє собою типovu мехатронну систему, що підтверджено багатьма сучасними розробками і публікаціями [3], [5], [8], [12].

Однією з основних складових системи мікроклімату є система керування переліченими процесами.

Аналіз літературних даних та постановка проблеми

Відомі підходи для побудови систем керування тепличними об'єктами з застосуванням математичних та комп'ютерних моделей розглянуто в роботах [1], [2]. У [3], [5] наведено приклади та проблеми побудови систем керування мікрокліматом теплиць за рахунок штучної нейронної мережі. Відслідковування розподілу температур за допомогою стаціонарних пристроїв розглядається у роботі [4]. Дослідження вказують на нестабільність процесів в об'єкті регулювання і необхідність врахування багатьох взаємних впливів між цими процесами.

Запропоновано додати до складу системи керування еталонну спрощену модель об'єкта керування – теплиця середнього об'єму (рис. 1). Ця комп'ютерна модель, за відомими зовнішніми чинниками (добова і

✉ Є.Ю. Синицина
dudka2811@gmail.com

¹ КПІ ім. Ігоря Сікорського, Київ, Україна

сезонна зміна температури і вологості, вплив зовнішніх повітряних потоків та опадів, зміна зовнішніх теплових потоків) має визначати очікувану зміну контрольованих параметрів в теплиці впродовж певного терміну (пів години – година). За отриманими змінами значень параметрів має відбуватись вироблення таких сигналів керування, які запобігатимуть виходу мікроклімату теплиці за рекомендовані межі.

Мета дослідження

Метою роботи є створення і тестування (перевірка правдоподібності) спрощеної моделі мікроклімату теплиці середнього об'єму.

На етапі тестових випробувань не передбачено врахування змін зовнішніх чинників впродовж кожного тестового експерименту. Кожний тестовий експеримент передбачає визначення впливу тільки одного параметру при фіксованих значеннях всіх інших.

Матеріали та методи дослідження

Модель теплиці повинна враховувати основні процеси, що відбуваються під впливом зовнішніх чинників, основні засоби керування, геометричні та просторові характеристики об'єкту. Температурний режим в середині замкненого об'єму має бути рівномірним та сталим, незалежним від впливу зовнішніх факторів.

Краєві умови. Прийнято, що при початку дослідження температура в тепличному об'єкті розподілена рівномірно та має сталі значення [2], [3], [11].

Рівняння теплового балансу енергії, яке характеризує зміни температури повітря в тепличному об'єкті має вигляд:

$$\rho \times V \times C \times \frac{dT(t)}{dt} = Q_{надх} - (Q_{втрати} + Q_{свіж}) \quad (1)$$

де ρ – густина повітря; C – питома теплоємність повітря; V – об'єм повітря; $T(t)$ – температура повітря всередині теплиці; $Q_{втрати}$ – втрати теплоти; $Q_{свіж}$ – втрати теплоти на обігрів свіжого повітря; $Q_{надх}$ – теплові надходження від системи обігріву.

Теплові енергія системи обігріву описується:

$$Q_{пост} = -G_{тепл} \times C_{тепл} (T_{пoch} - T_{кін}) \quad (2)$$

де $G_{тепл}$ – витрати теплоносія; $T_{пoch}, T_{кін}$ – температура теплоносія на вході і виході теплообмінника; $C_{тепл}$ – питома теплоємність; $T_{пoch} - T_{кін}$ – різниця температур на вході і виході з теплообмінника.

Теплові втрати через конструкцію теплиці з полікарбонату:

$$Q_{огор} = \sum k \times F \times (T_в - T_n) \quad (3)$$

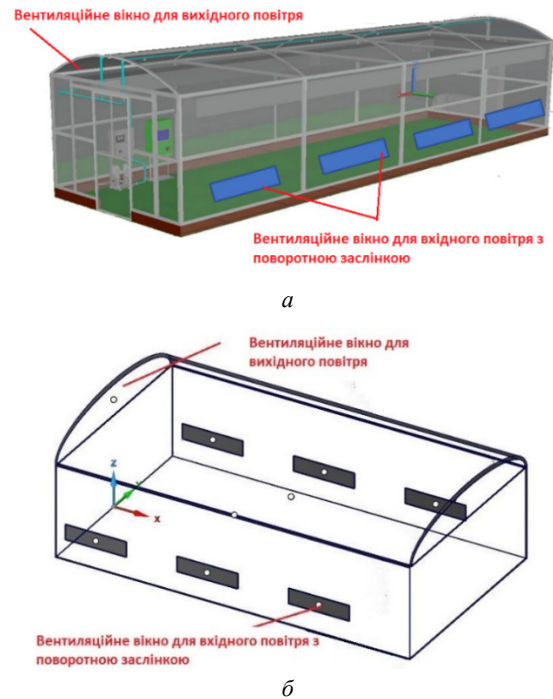


Рис. 1. Модель тепличного об'єкта: а – зовнішній вигляд теплиці; б – просторова модель в програмному забезпеченні Ansys

де k – коефіцієнт теплопередачі полікарбонату ($\text{Дж}/\text{м}^2$); F – площа огорожі (м^2); $T_в - T_n$ – перепад температури повітря (град); $T_в$ – температура повітря всередині теплиці (град); T_n – температура повітря зовнішня (град).

Теплові витрати на обігрів припливного повітря:

$$Q_{свіж} = G_{свіж} \times C_{нов} (T_в - T_n) \quad (4)$$

де $G_{свіж}$ – витрата свіжого повітря для вентиляції теплиці ($\text{кг}/\text{с}$); $C_{нов}$ – питома теплоємність повітря ($\text{Дж}/\text{кг} \cdot \text{град}$); $T_в$ – температура повітря всередині теплиці (град); T_n – температура повітря зовнішня (град).

Рівняння масового балансу води у теплиці:

$$\rho \times V \times \frac{dX(t)}{dt} = G_{свіж} \times X_{свіж} - G_{випр} \times X_{випрам} + G_{пар} \quad (5)$$

де ρ – густина повітря ($\text{кг}/\text{м}^3$); $X_{випрам}$ – абсолютна вологість повітря ($\text{кг}/\text{води}/\text{кг}/\text{повітря}$); V – об'єм повітря (м^3); $X(t)$ – абсолютна вологість повітря в атмосфері теплиці ($\text{кг}/\text{води}/\text{кг}/\text{повітря}$); $G_{випр}$ – витрата повітря ($\text{кг}/\text{с}$); $G_{свіж}$ – витрата свіжого повітря ($\text{кг}/\text{с}$); $X_{свіж}$ – абсолютна вологість свіжого повітря ($\text{кг}/\text{води}/\text{кг}/\text{повітря}$); $G_{пар}$ – витрата пара ($\text{кг}/\text{с}$).

За формулою Максвелла ефективність зволоження повітря:

$$\frac{dm_k(\tau)}{d\tau} = \frac{4 \times \pi \times r_k(\tau) \times D(\theta) \times m_w [P_H(\theta_w) - P(d)]}{R \times T} \quad (6)$$

де, m_k, r_k – маса і радіус краплі кг, м; $D(\theta)$ – коефіцієнт дифузії пари повітря; m_w, R – молекулярна вага води у газоподібному стані та газова стала пари; T – температура пари, К; P_H, P – парціальний тиск пари над поверхнею краплі та в оточуючому середовищі, Па.

За результатами аналізу побудовано математичну модель зміни температури та вологості в тепличному об'єкті замкнутого об'єму і має вигляд:

$$\frac{dt_v}{d\tau} = \frac{2G_n}{V_v}(t_g - t_v) - \frac{k_1 F_t (t_v - t_p)}{C_v V_p \rho_p} \quad (7)$$

$$\frac{dt_p}{d\tau} = \frac{k_1 F_t (t_v - t_p) - k_2 F_c (t_p - t_z)}{C_v V_p \rho_p} \quad (8)$$

$$\frac{m_v}{G_v} \times \frac{dM_p}{d\tau} + M_p = G_w \times 10^3 + G_v d_1 \quad (9)$$

k_1, k_2 – коефіцієнти теплопередачі через стінку та матеріалу поверхні теплиці; $t_v - t_p$ – температура води та повітря теплиці, °С; F_t – поверхня теплообміну, м²; V_p – об'єм тепличного об'єкту, м³; ρ – густина повітря, кг/м³; F_c – поверхня закленої теплиці, м².

Для модельного дослідження вирішено прийняти такі змінні величини: тиск, температура, швидкість потоку повітря та час [1], [8].

Модель створена на основі наступного [3], [8], [10]:

1. Модель описує тепличний об'єкт, як заданий об'єм повітря, обмежений стінами, дахом та підлогою. Просторовий розподіл змінних параметрів, що описують мікроклімат, не враховуються.
2. Біомаса тепличного об'єкту не враховується, вона є сталим значенням.
3. Управління розглядається як квазістаціонарний процес. Аеродинамічні процеси по рівнянням Нав'є-Стокса:

$$\rho \times \left[\frac{dW_x}{dt} + \frac{dW_x}{dx} + \frac{dW_x}{dy} + \frac{dW_x}{dz} \right] = \rho g x - \frac{dp}{dx} + \mu \left(\frac{d^2 W_x}{dx^2} + \frac{d^2 W_x}{dy^2} + \frac{d^2 W_x}{dz^2} \right) \quad (10)$$

$$\rho \times \left[\frac{dW_y}{dt} + \frac{dW_y}{dx} + \frac{dW_y}{dy} + \frac{dW_y}{dz} \right] = \rho g y - \frac{dp}{dy} + \mu \left(\frac{d^2 W_y}{dx^2} + \frac{d^2 W_y}{dy^2} + \frac{d^2 W_y}{dz^2} \right) \quad (11)$$

$$\rho \times \left[\frac{dW_z}{dt} + \frac{dW_z}{dx} + \frac{dW_z}{dy} + \frac{dW_z}{dz} \right] = \rho g z - \frac{dp}{dz} + \mu \left(\frac{d^2 W_z}{dx^2} + \frac{d^2 W_z}{dy^2} + \frac{d^2 W_z}{dz^2} \right) \quad (12)$$

де, $\frac{dW_x}{dx} + \frac{dW_x}{dy} + \frac{dW_x}{dz}$ – конвективний член; $\rho g x$ –

гравітаційний член;

$\frac{dp}{dx}$ – зміна тиску в потоці; $\frac{d^2 W_x}{dx^2} + \frac{d^2 W_x}{dy^2} + \frac{d^2 W_x}{dz^2}$ –

дисипативний член; ρ – густина середовища; g – прискорення вільного падіння; μ – динамічна в'язкість середовища; P – тиск; $W_x W_y W_z$ – векторне поле швидкостей; t – час.

Рівняння нерозривності має вигляд:

$$\frac{dp}{dt} + \frac{d(\rho W_x)}{dx} + \frac{d(\rho W_y)}{dy} + \frac{d(\rho W_z)}{dz} = 0 \quad (13)$$

Температурний режим в тепличному об'єкті описується:

$$\frac{dT}{dt} + W_x \times \frac{dT}{dx} + W_y \times \frac{dT}{dy} + W_z \times \frac{dT}{dz} = \frac{\lambda}{C_p \times \rho} \times \left(\frac{d^2 T}{dx^2} + \frac{d^2 T}{dy^2} + \frac{d^2 T}{dz^2} \right) \quad (14)$$

де, $W_x \times \frac{dT}{dx} + W_y \times \frac{dT}{dy} + W_z \times \frac{dT}{dz}$ – конвективний член;

T – температура; λ – коефіцієнт теплопровідності середовища; C_p – питома теплоємність середовища; ρ – густина середовища; $W_x W_y W_z$ – векторне поле швидкостей; t – час.

Дослідження моделі тепличного об'єкту проведено в програмному забезпеченні Ansys. На рис. 2 зображено інтерфейс пакету Ansys та змінні параметри. При дослідженні об'єкту було прийнято наступні фізичні параметри теплиці:

- Габаритні розміри – 7000×4000×1750 мм;
- Кількість вікон провітрювання – 6 шт;
- Габаритні розмір вікна провітрювання – 600×150 мм;
- Вікна розташовуються по боковим стінкам теплиці;
- Загальна площа теплиці – 28 м²;
- Об'єм тепличного об'єкту – 49 м³.

Вхідні значення для модельного дослідження:

Ді { P_1, v_1, T_1 } – значення тиску, швидкості та те-

мператури повітря відповідно. Процес дослідження мікроклімату тепличного об'єкту відбувається в безперервному часі.

В еталонній моделі тепличного об'єкту забезпечується регулювання нерівномірності розповсюдження теплових мас за допомогою заслінки. За дослідженнями [1], [8], [9], які взято за основу при проектуванні еталонної моделі, регулювання тепло-масообміном здійснюється за рахунок зміни кута відкриття заслінки. Зна-

чення параметрів $D1 \{v1, T1, P1\}$ відповідають початковим значенням цих параметрів на рис. 2б.

Для проведення тестового випробування було сформовано масив даних відповідно до задачі та основних параметрів об'єкта дослідження. Введено наступні початкові дані:

- 1 – початкове значення температури повітря всередині замкнутого об'єму об'єкта дослідження;
- 2 – початкові значення температури повітря та швидкості на вході у вентиляційні вікна;
- 3 – значення тиску на виході з вентиляційного вікна.

В програмному забезпеченні Ansys генерується модель зміни параметрів мікроклімату (температури, швидкості та тиску повітря), що відображається на рис. 2в.

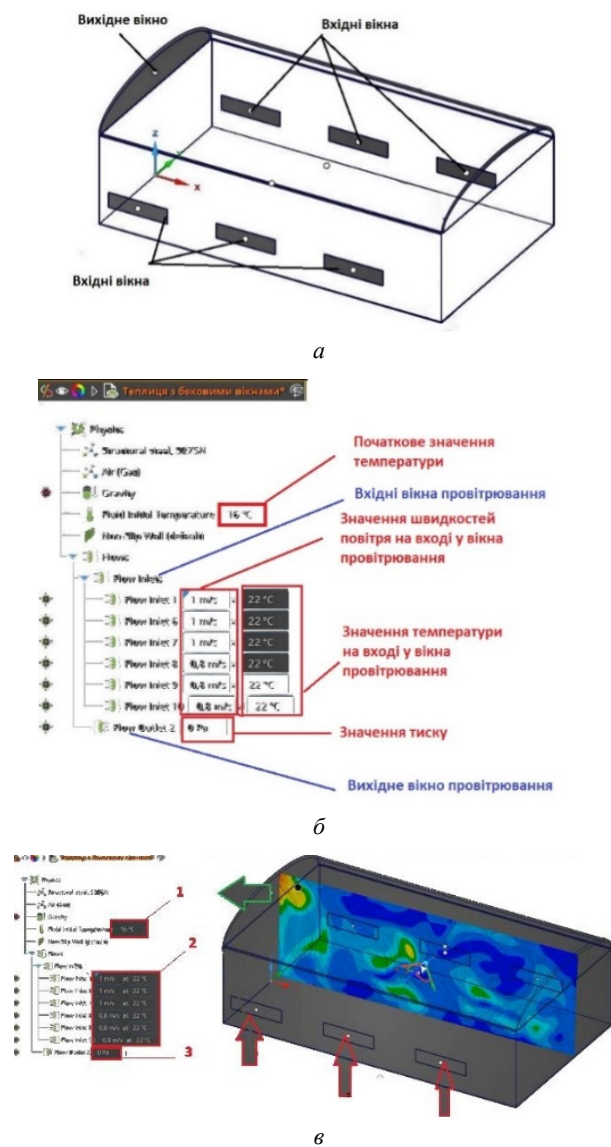


Рис. 2. Модель тепличного об'єкта у середовищі Ansys: а – розміщення вікон провітрювання; б – введення початкових даних для дослідження; в – загальний вигляд процесу дослідження в програмному забезпеченні

Оскільки автоматизована система мікроклімату теплиці має забезпечувати певні граничні параметри у всьому об'ємі теплиці, контроль означених параметрів відбуватиметься необхідною кількістю датчиків, розташованих відповідним чином. Тобто, на функції спрощеного дослідження припадає задача визначення кількості і розташування датчиків контролю. Для цього заплановано визначення полів розподілення тиску, швидкості, температури, вологості по об'єму теплиці.

Програма тестового експерименту

Мета експериментального дослідження полягає у перевірці правдоподібності рівнянь зміни температури та вологості в тепличному об'єкті замкнутого об'єму, які виконані в програмному забезпеченні Ansys. Еталонна модель тепличного об'єкта розроблена в масштабі 1:1 та є прототипом фізичної моделі. Матеріал з якого виготовлена теплиця – полікарбонат. Зовнішній вигляд тепличного об'єкта зображений на рис. 1а.

Задачею тестування моделі є визначення змін параметрів мікроклімату під дією еталонного зовнішнього впливу: температури, повітря-обміну, швидкості, вологості. Модель під впливом кожного з параметрів має визначити функцію стабілізації або зміну основних параметрів мікроклімату в часі за означений термін. Для цього заплановано аналіз змін поля певного параметру в об'ємі теплиці, визначення максимальних та мінімальних значень, визначення координат особливих зон, побудова функцій змін параметру в часі.

Результати тестового експерименту

Повітрообмін тепличного об'єкта – 1400 м³/год; початкове значення температури повітря 16 °С; швидкість повітря в замкнений об'єм теплиці через вікно провітрювання – 1,1 м/с; площа вікна провітрювання складає 0,35 м²; тиск на вході у вікно провітрювання 30 Па; температура потоку повітря, що надходить 22,0 °С. Вплив температурного параметру: зміна температури у замкнутому об'ємі відбувається в діапазоні від 17,9 °С до 22 °С. Локальні функції зміни параметру спостерігають у всіх точках об'єкта дослідження на 1–10 секундах. Інтегральна функція зміни параметру зображена на 20-й та 30-й секунді. На рис. 4а наведено зміни температури тепличного об'єкта в проміжок часу від 0 до 30 секунд у точках замірів. Для відслідковування та прогнозування розповсюдження температури в замкнутому тепличному об'ємі встановлюються датчики температури. Місця встановлення датчиків зображено на рис. 3а у кількості 6 штук.

Дана кількість датчиків дасть можливість контролювати температуру по всьому периметру теплиці та зменшить час на стабілізацію параметра.

На рис. 4б зображено функцію стабілізації температури в тепличному об'єкті. Характеристика має

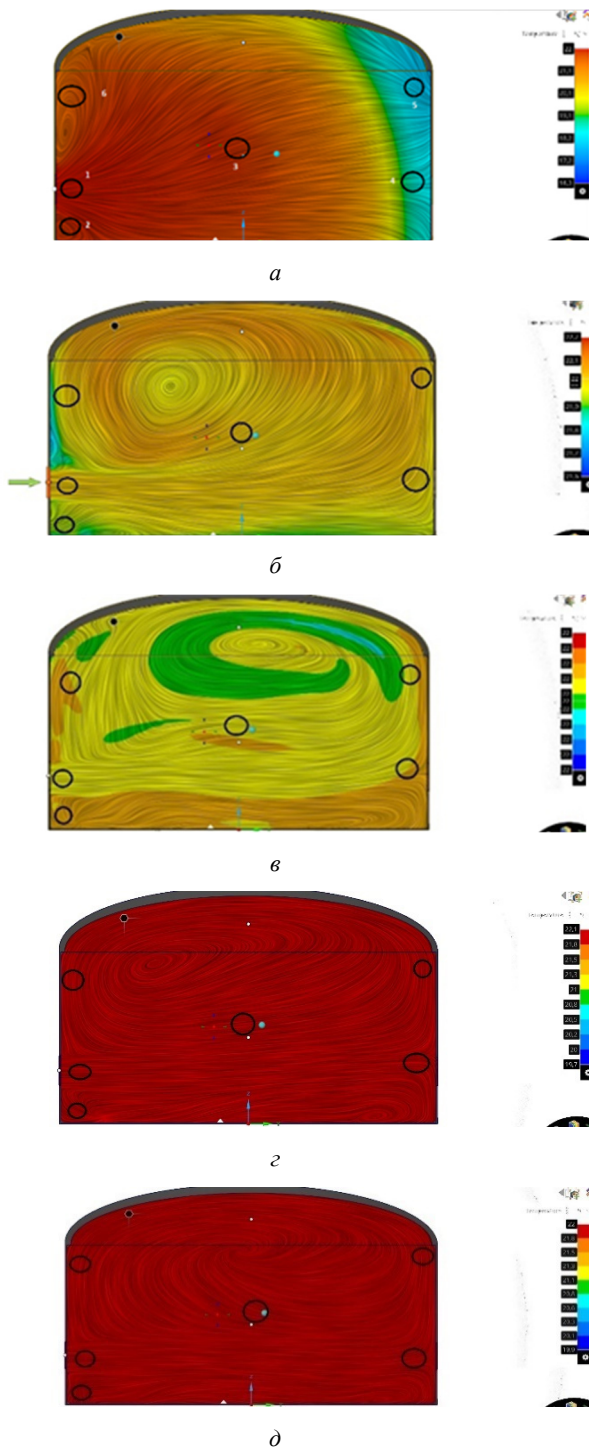
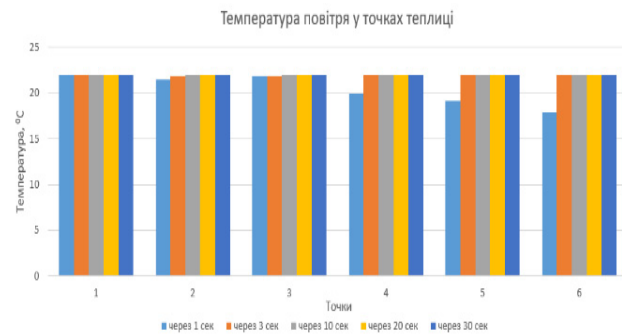


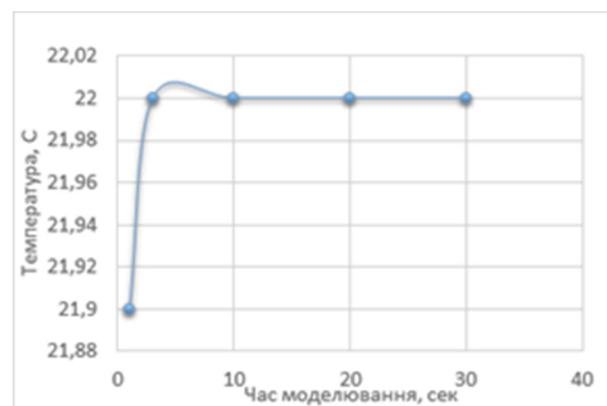
Рис. 3. Моделювання змін поля температур тепличного об'єкта у часі: *а* – через 1 секунду; *б* – через 3 секунди; *в* – через 10 секунд; *г* – через 20 секунд; *д* – через 30 секунд

вигляд функції з переколюванням, меншим за 0,1 градуса, що є припустимим для тепличного об'єкта. Час стабілізації температури при стрибку температури 6 градусів склав 10,2 секунди. Подібні експерименти з іншими значеннями зміни температури і потужності теплового потоку суттєво відрізняються за своїми результатами, у тому числі в декілька разів за часом ста-

білізації. Тобто, встановлена необхідність врахування теплового потоку та стрибку температури для коригування алгоритму керування.



а



б

Рис. 4 Функція зміни температури повітря: *а* – зміна температури по точках заміру; *б* – зміна температури відносно часу

На рис. 5 наведено зміни швидкості потоку повітря в тепличному об'єкті в проміжок часу від 0 до 30 секунд. Початкова швидкість в об'єкті прийнята – 0 м/с. Локальні функції зміни параметра спостерігають у всіх точках об'єкта дослідження, які знаходяться в одній площині з східними вікнами провітрювання.

Інтегральна функція зміни параметру зображена на рис. 5г та д з 20 по 30 секунду.

Таким чином, побудована тестова модель показує, що приток повітря в нижній частині об'єкта через східне вікно провітрювання викликає більшу швидкість руху повітряних мас всередині теплиці [1], [2], [9]. Аналіз розподілу швидкості повітряного потоку показує, що більше вихрові потоки повітря генеруються всередині теплиці, в основному сконцентровані у верхній частині об'єкта, що перешкоджає циркуляції повітряного потоку по всьому замкнутому об'єму. Вплив швидкісного параметру: зміна швидкості у замкнутому об'ємі відбувається в діапазоні від 0,025 м/с до 1,06 м/с.

На рис. 6а наведено зміни швидкості повітря в замкнутому об'ємі тепличного об'єкта в проміжок часу від 0 до 30 секунд у точках замірів. Для відслідковування та прогнозування розповсюдження швидкості

в замкнутому тепличному об'ємі встановлюються датчики швидкості. Місця встановлення датчиків зображено на рис. 5а у кількості 6 штук.

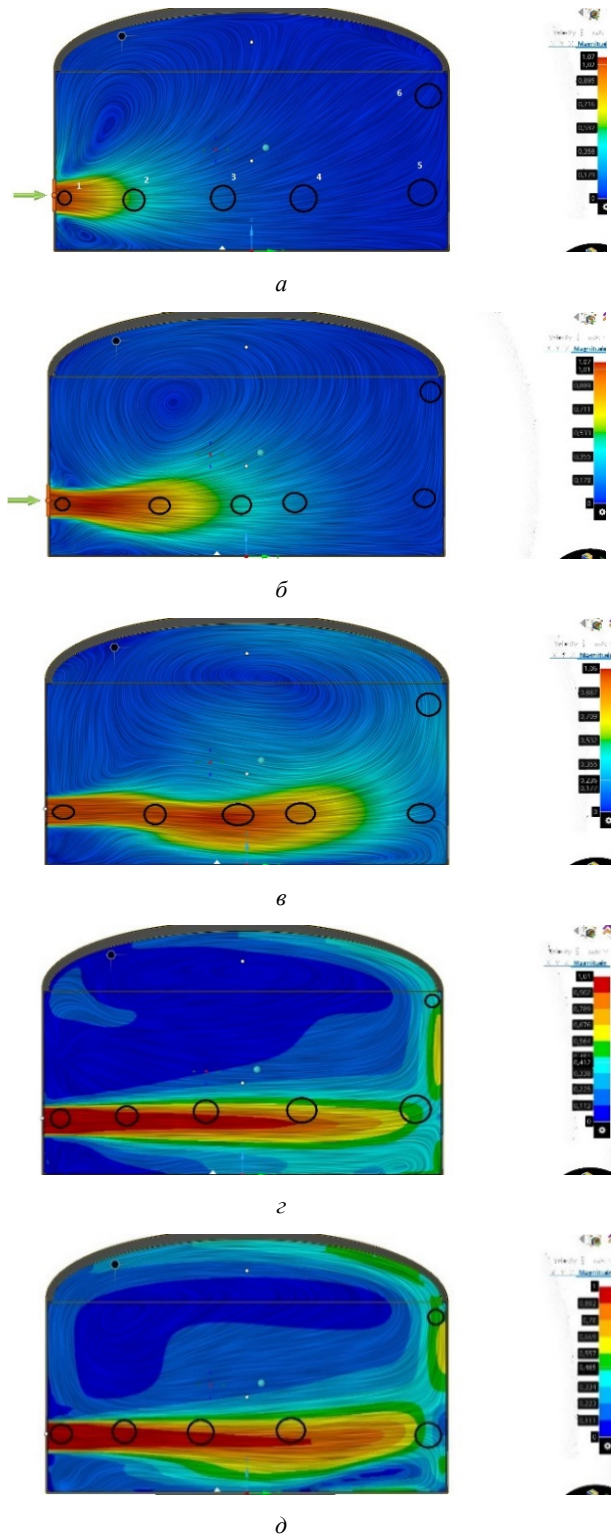


Рис. 5 Моделювання зміни швидкості потоку вхідного повітря у часі: а – через 1 секунду; б – через 3 секунди; в – через 10 секунд; г – через 20 секунд; д – через 30 секунд

На рис. 6б наведено зміни швидкості руху повітряних мас тепличного об'єкту в різний проміжок часу. Спостерігаємо коливальний процес який 60 секунд не затихає, амплітуда 0,05 м/сек.

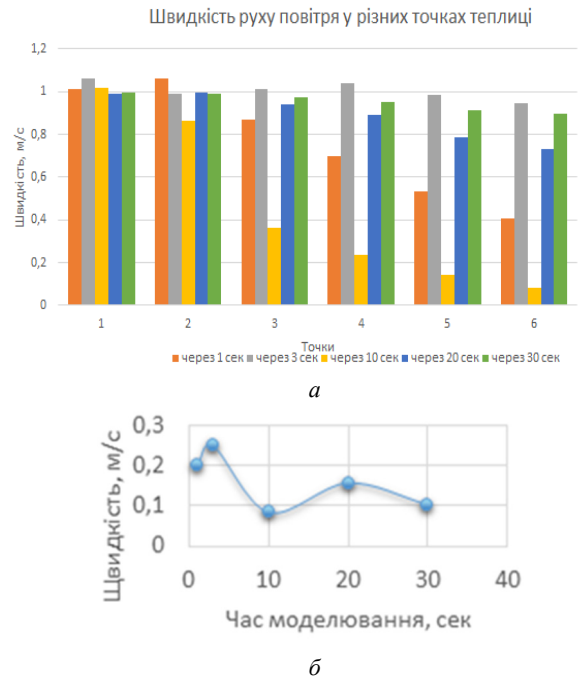


Рис. 6. Функція зміни швидкості повітря: а – зміна швидкості відносно точок заміру; б – зміна швидкості відносно досліджуваного інтервалу часу

Висновки

У даній роботі створено та перевірено на правдоподібність спрощену модель мікроклімату теплиці середнього об'єму. Виконані тестові випробування моделі, що показало її придатність при процесах тепломасообміну під дією зовнішніх чинників. Підтверджено розв'язки диференційних рівнянь зміни температури в замкнутому об'ємі тепличного об'єкту. Встановлено, що з врахуванням тепло-масо-обмінних процесів в геометричній 3-D моделі теплиці можуть бути змодельовані зміни полів розподілу швидкості і температури повітря в часі, у тому числі з врахуванням: теплообміну із оточуючим середовищем; доданих і відібраних потоків повітря із заданими значеннями витрати, швидкості і температури.

Отримані в результаті модельного експерименту залежності стабілізації усереднених значень температури і швидкості вказують, що час стабілізації температури повітря (додана витрата 1400 м³/год; початкове значення температури повітря 16°C; температура потоку повітря, що надходить 22,0°C) не перевищує 10...15 секунд при швидкості вхідного потоку 1,1 м/с, а час стабілізації швидкості перевищує 30 секунд.

За результатами тестових експериментів визначено залежності змін швидкості і температури в окремих точках простору та для усереднених значень, які підтверджують відповідність моделі і об'єкту моделювання на якісному рівні.

За результатами аналізу розподілу температури та швидкості в теплиці запропоновано встановити шість

датчиків температури та шість датчиків швидкості по вертикальній площині з перерізом вхідного вікна провітрювання.

Для підтвердження адекватності моделі необхідно виконати порівняльні експерименти для фізичного об'єкту теплиці і запропонованої розрахункової моделі.

References

- [1] N. Radojević "Microclimate Control in Greenhouses," *FME Transactions* Vol. 42, No. 2, pp. 167–171, 2014, doi: 10.5937/fmet1402167R.
- [2] G. Nicolosi, R. Volpe and A. Messineo, "An Innovative Adaptive Control System to Regulate Microclimatic Conditions in a Greenhouse," *Energies*, 10, 722, 2017, doi: 10.3390/en10050722.
- [3] V. K. Singh and K. N. Tiwari, "Prediction of greenhouse micro-climate using artificial neural network applied ecology and environmental research," *Applied ecology and environmental research*, Vol. 15(1), pp. 767–778, 2017, doi: 10.15666/aecer/1501_767778.
- [4] T. Diordiev, A. O. Kashkarov and O. O. Diordiev, "Automated monitoring and control system for microclimate of the greenhouse," *Proceedings of the scientific and technical conference of students and undergraduates*, No. 8, Vol. 2, 2018, doi: 10.31388/2220-8674-2018-2-25.
- [5] Zilong Fan *et al.*, "Analysis of the Effect of Exhaust Configuration and Shape Parameters of Ventilation Windows on Microclimate in Round Arch Solar Greenhouse," *Sustainability*, 15, 6432, 2023, doi: 10.3390/su15086432.
- [6] L. G. Vikhrova, V. M. Kalich and T. O. Prokopenko, *Mathematical and computer modeling of temperature distribution in a greenhouse for the development of a control system*, 2011.
- [7] M. Nachidi, *Stabilization of T-S Fuzzy Systems with Application on a Greenhouse: Static Output-Feedback Control Design Problem*; Lap Lambert Academic Publishing GmbH KG: Saarbrücken, Germany, 2012. [Online]. Available: <https://books.google.lu/books?id=-VWHMgEACAAJ> (accessed on 15 March 2017).
- [8] D. Zhang, X. Wu and C. Zhang, "The application of fuzzy control in greenhouse environment control," *Appl. Mech. Mater.*, Vols. 543–547, 1432–1435, 2014, doi: 10.4028/www.scientific.net/AMM.543-547.1432.
- [9] F. He, C. Ma, J. Zhang and Y. Chen, *Greenhouse air temperature and humidity prediction based on improved bp neural network and genetic algorithm*, D. Liu *et al.* Eds., Part III, LNCS 4493, pp. 973–980, 2007, doi: 10.1007/978-3-540-72395-0_119.
- [10] B. Yang *et al.*, "Levenberg-Marquardt backpropagation algorithm for parameter identification of solid oxide fuel cells," *Int. J. Energy Res.*, Vol. 45, pp. 17903–17923, 2021, doi: 10.1002/er.6929.
- [11] C. Lv *et al.*, "Levenberg–Marquardt Backpropagation Training of Multilayer Neural Networks for State Estimation of a Safety-Critical Cyber-Physical System," *IEEE Trans. Ind. Inform.*, Vol. 14, pp. 3436–3446, 2018, DOI: 10.1109/TII.2017.2777460.

Model of the control object of the mechatronic microclimate system of a medium-volume greenhouse

Y. Synytsyna¹ • S. Kosmuna¹

¹ Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute, Kyiv, Ukraine

Abstract. Sudden changes in air temperature and humidity have a negative impact on crop production. Modern methods of regulating the microclimate of greenhouse facilities are reduced to the simplest one - controlling the flow and temperature of air masses. The aim of this work is to create and test (verify the plausibility) a simplified model of the microclimate of a medium-sized greenhouse. The simplified greenhouse model takes into account the main processes that occur under the influence of external factors (air exchange, mass transfer, moisture transfer, heat transfer), and also takes into account the geometric and spatial characteristics of the object. Each test experiment involves determining the effect of only one parameter at fixed values of all other parameters. A simplified reference model of changes in microclimate parameters (temperature, air velocity and pressure) was developed using Ansys software. Using computer modelling of temperature fields and velocities, an analysis was carried out to determine the possibility of using the model in the control system. The microclimate characteristics were analysed when air pressure, velocity and temperature were stabilised. The results of the study and the developed model are suitable for use in control algorithms for the greenhouse mechatronic system to take into account cyclic daily changes in parameters.

Keywords: microclimate, simplified model, modeling, heat and mass transfer processes, greenhouse object, temperature field, flow rate.