

УДК 62.53

## Забезпечення вологості повітря в тепличному об'єкті середнього об'єму

Синицина Є. Ю., Губарев О. П.

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», м. Київ, Україна

*Будь-які зміни температури та вологості повітря негативно впливають на вирощування рослин. В основу регулювання мікроклімату є температура та вологість повітря в середині тепличного об'єкту. Метою цієї роботи є аналіз зміни вологості теплиці з механічною вентиляцією. Для цього було розроблену спрощену модель тепличного об'єкту середнього об'єму. Моделювання було виконано для однієї доби в Херсонській області (17 травня 2023 року). Модель тепличного об'єкту була змодельована без рослин. Результати дослідження є змодельовані розподіли повітряних мас та вологості повітря в теплиці. За допомогою отриманих даних розподілу повітря визначено витрату води для розпилення форсунок впродовж доби, що є основою гідравлічної системи зволоження теплиці. Результати дослідження придатні для використання в алгоритмах керування мехатронною системою теплиці для врахування циклічних добових змін параметрів вологості.*

*Ключові слова:* гідравлічна схема; теплообмін; масообмін; мехатронна система; мікроклімат; вологість повітря.

Постійний контроль параметру вологості відіграє важливу роль, оскільки надмірний її рівень може спричинити появу різних хвороб, а мала кількість - викликає гідравлічний стрес у рослин, що спричиняє зменшенню врожайності. Дослідження способів контролю вологості пов'язане з двома основними проблемами: температура і вологість в теплицях є обернено пропорційними факторами; більшість сучасних автоматичних систем моніторингу та контролю параметрів мікроклімату теплиць використовують одні й ті ж приводи для регулювання температури і вологості [1]. Тому для регулювання складними процесами теплообміну та масообміну повітряних мас в теплиці доцільно використовувати мехатронну систему керування.

В програмному забезпеченні SOLIDWORKS було згенеровано модель зміни параметрів мікроклімату (зміна вологості в теплиці). У даній моделі враховано технологічні режими мікроклімату для вирощування рослин, а також конструкції та покриття тепличних об'єктів. Проаналізувавши існуючі дослідження Ben Ali R., Bouadila S., Mami A., 2018, Mather A., Kamel E., Enrico F., 2016; Diaz-Florez G., Mendiola-Santibanez J., Solis-Sanchez L., 2019 [2,3,4]:

$$\frac{dW_{air\ in}(t)}{dt} = \frac{L_{air\ in}}{\rho_{air} V_g} \left( C_e (P_{air\ out}(t) - P_{air\ in}(t)) \right) + Z_{total\ hum}(t), \quad (1)$$

де:  $W_{air\ in}$  – відносна вологість повітря в зоні вирощування, %;  $W_{air\ out}$  – відносна вологість зовнішнього повітря, %;  $t$  – час, с;  $V_g$  – об'єм теплиці, м<sup>3</sup>;  $\rho$  – густина повітря, кг/ м<sup>3</sup>;  $L$  – різниця між потоком вхідного повітря та вихідного, м<sup>3</sup>/с;  $C$  – коефіцієнт перенесення водяної пари в повітря, кг/ (м<sup>3</sup>\*Па);  $P_{air\ in}$  – внутрішній тиск насиченої пари, Па;  $P_{air\ out}$  – зовнішній тиск насиченої пари, Па;  $Z$  – різниця між швидкістю надходження та виведення вологи з площі тепличного об'єкту, %/с.

В результаті моделювання отримано модель розподілу вологості повітря в середині теплиці та схема розміщення форсунок (рис.1 а та б).

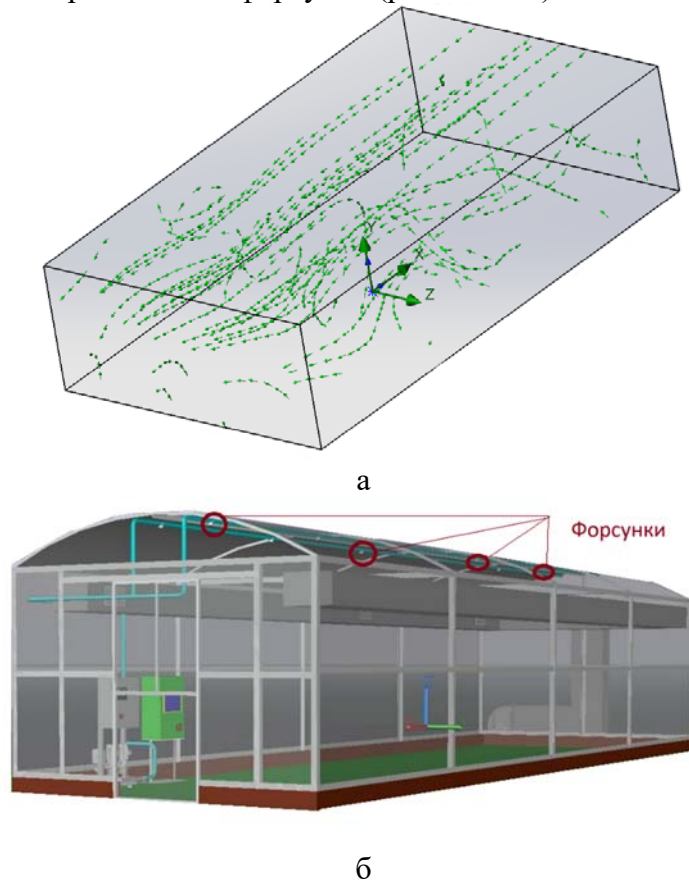


Рис.1. а - Розподіл вологості повітря в середині теплиці; б – Розміщення форсунок в тепличному об'єкті

Задачею програмного забезпечення є визначення змін включення форсунок для розпилення води під дією еталонного зовнішнього впливу: зміни температури та вологості. Для цього заплановано аналіз змін поля вологості в об'ємі теплиці, визначення витрати води для забезпечення сталого рівня вологості в часі.

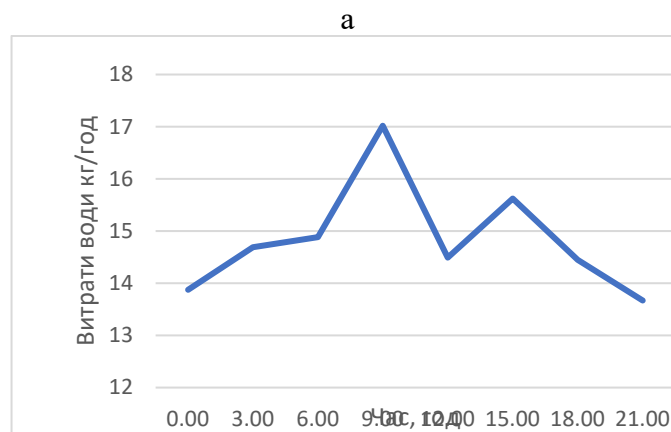
Початкові параметри для моделювання: повітрообмін тепличного об'єкту – 1500 м<sup>3</sup>/год; початкове значення температури повітря в середині теплиці 20 °С; вологість – 70%; швидкість повітря в верхній зоні теплиці – 1,5 м/с. При температурі повітря 20 °С та вологості 70% вміст води складає 12,11 г/м<sup>3</sup>. Отже, для всього об'єму теплиці витрата води для підтримання стабільної вологості складає 12,97 кг/год. Відповідно до прогнозу погоди на 17 травня 2023 року в Херсонській області (рис. 2а) було розраховано витрати води впродовж доби для розпилення форсунками, результати розрахунку наведені на рис.2.б [5,6].

Відповідно до технічних характеристик форсунки, витрата води 2-7,25 л/год, приймаємо, що для забезпечення сталого режиму вологості в тепличному об'єкті необхідно розробити гідравлічну схему та встановити в ній 4 форсунок.

Встановлено, що з врахуванням тепло-масо-обмінних процесів в геометричній 3-D моделі теплиці можуть бути змодельовані розподіл повітряних мас та вологості теплиці в часі. Отримані залежності розподілу повітря дозволили побудувати витрати води для розпилення форсунок впродовж доби щоб забезпечити сталу вологість в тепличному об'єкті.

Отримана в результаті модельного експерименту залежність витрати води в часі показує, що для теплиці достатньо використання 4 форсунок з продуктивністю 7,25 л/год.

День	Час	Висота хмар	Дальн. видим.	Хмарн. Вітер	Швидк. Вітру	Темп. пов.	Точка роси	Тиск станц.	Тиск моря	ОпадЧас	Явища погоди	TmaxTminВолог.
17	0:00			6 ↓	2 м/с	15.6°		-5				68%
17	3:00			8 ↙	1 м/с	15.7°		-5				72%
17	6:00			5 ↙	1 м/с	13.9°		-5				82%
17	9:00			3 ↙	2 м/с	20.7°		-5				62%
17	12:00			6 ↙	3 м/с	25.4°		-5				42%
17	15:00			5 ↙	3 м/с	26.2°		-5				41%
17	18:00			4 ↙	2 м/с	23.9°		-5				45%
17	21:00			2 ☉	0 м/с	16.1°		-5				67%



б

**Рис.2. а – Прогноз погоди на 17 травня 2023 року в Херсонській області; б – Витрата води для розпилення форсунок**

#### Список літератури

1. Л. С. Гіль, А. І. Пашковський, Л. Т. Суліма. Сучасні технології овочівництва закритого і відкритого ґрунту // Нова Книга. – 2008. – №1. – С. 368.
2. Ben Ali R., Bouadila S., Mami A. Development of a Fuzzy Logic Controller applied to an agricultural greenhouse experimentally validated. Applied Thermal Engineering. 2018. Vol. 141. P. 798–810.
3. Maher A., Kamel E., Enrico F., Atif I., Abdelkader M. An intelligent system for the climate control and energy savings in agricultural greenhouses. Energy Efficiency. 2016. Vol. 9 (6). P. 1241–1255.
4. Diaz-Florez G., Mendiola-Santibanez J., Solis-Sanchez L., Gomez-Melendez D., Terol-Villalobos I., GutierrezBanuelos H., Araiza-Esquivel M., Espinoza-Garcia G., Garcia-Escalante J., Olvera-Olvera C. Modeling and Simulation of Temperature and Relative Humidity Inside a Growth Chamber. Energies. 2019. Vol.12 (21). P.1–22.
5. Synytsyna E.Yu., Model of the control object of the mechatronic microclimate system of a medium-sized greenhouse - Mech. Adv.Technol. Vol. 7, No. 3, 2023, pp. 330–336.
6. Гульков К.С., Автоматизована гідравлічна система поливу та зрошування тепличного господарства, 2024.

### Provision of air humidity in a medium-sized greenhouse object

**Synytsyna E. Y., Gubarev O. P.**

*Any changes in air temperature and humidity have a negative impact on plant cultivation. The basis of microclimate control is the temperature and humidity inside the greenhouse. The purpose of this paper is to analyze the humidity changes in a mechanically ventilated greenhouse. For this purpose, a simplified model of a medium-sized greenhouse was developed. The modeling was performed for one day in the Kherson region (May 17, 2023). The greenhouse model was modeled without plants. The results of the study are the modeled distributions of air masses and air humidity in the greenhouse. Using the obtained air distribution data, the water consumption for spraying nozzles during the day was determined, which is the basis of the hydraulic humidification system of the greenhouse. The results of the study are suitable for use in control algorithms for the greenhouse mechatronic system to take into account cyclic daily changes in humidity parameters.*

*Keywords:* hydraulic scheme; heat transfer; mass transfer; mechatronic system; microclimate; air humidity.