

УДК 621.181.2

Б.І. Котов, проф., д-р техн. наук, В.О. Грищенко, ас.

Національний університет біоресурсів і природокористування України

Математичні моделі динаміки електричних зволожувачів повітря

В статті досліджено математичну модель динаміки процесів генерації пару та зволоження повітря. Отримано динамічні характеристики парозволожувача з використанням MatLab/Simulink.

парозволожувач, модель динаміки процесів генерації пару, математична модель парозволожувача

Б.И. Котов, В.О. Грищенко

Национальный университет биоресурсов и природопользования Украины

Математические модели динамики электрических увлажнителей воздуха

В статье исследовано математическую модель динамики процессов генерации пара и увлажнения воздуха. Получено динамические характеристики пароувлажнителя с использованием MatLab/Simulink.

пароувлажнитель, модель динамики процессов генерации пара, математическую модель пароувлажнителя

Сучасною аграрною політикою визнано за доцільне зберігати плодоовочеву продукцію і фрукти у місцях їх безпосереднього виробництва. Це дозволяє значно знизити втрати в результаті швидкого охолодження після збирання в місцевих сховищах обладнаних машинними системами охолодження.

Кожний вид продукції необхідно зберігати в холодильних камерах при оптимальній вологості продукту, відхилення якої в будь яку сторону визиває втрати від усушки або від порчі. Встановлено, що в камерах з температурою близькою до нуля рівноважна вологість, як правило значно нижча (60-70% при нормованому значенні 90-95%). Незважаючи на очевидну необхідність штучного зволоження повітря, в більшості типових проектів камери фрукто- і овочесховищ оснащені холодильними установками, які підтримують тільки температурний режим. Регулювання вологості повітря в цих камерах не передбачено за відсутністю серійних зволожувачів повітря, а також регуляторів вологості, що працюють при нульових температурах.

Аналізом літературних джерел встановлено, що існуючі методи розрахунків і досліджень апаратів для тепловологісної обробки повітря [1,2,4,5] базуються в основному на аналізі експериментальних даних, отриманих при дослідженні конкретних конструкцій [4-8] в конкретних умовах, не дозволяють з достатньою точністю використовувати при розрахунках інших апаратів, що працюють в інших умовах.

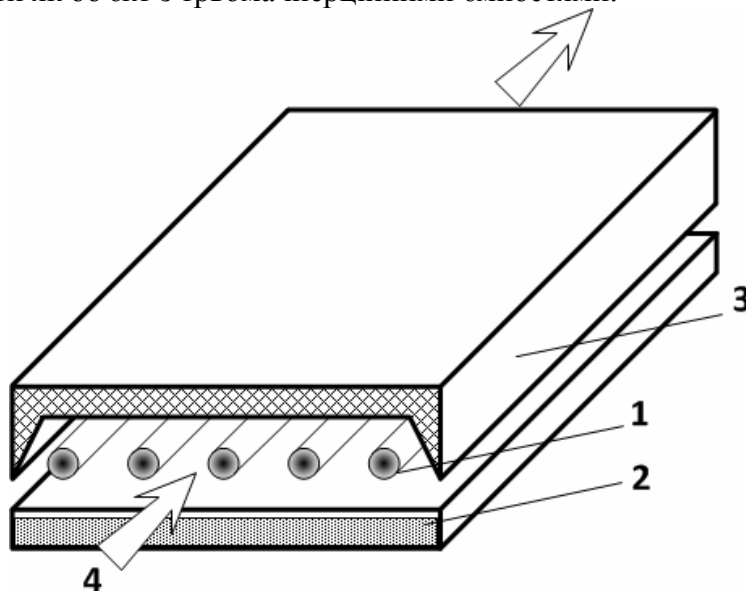
Більш доцільним є дослідження процесів тепло і масообміну на основі аналізу результатів отриманих при використанні детермінованих математичних моделей.

Мета роботи створення математичних моделей, що відтворюють динамічні режими роботи електричних зволожувачів з інфрачервоним і елементним (кондуктивним) способом підведення теплоти до робочого середовища.

Дослідження проводились на основі аналізу результатів отриманих при розв'язку рівнянь збереження енергії та маси, які дозволили найбільш повно встановити

залежності між основними параметрами, що визначають інтенсивність процесів і енерговитрат на зволоження повітря.

Результати досліджень. Розглядається об'єкт досліджень – терморадіаційний паровий зволожувач повітря в якому вода випаровується під дією інфрачервоного опромінення за схемою [8] наведеною на рис. 1. Конструкція зволожувача складається з прямокутного піддону з водою (шар води 25 мм), термовипромінювачів і екрану. Вода випаровується під дією інфрачервоної радіації. Таким чином зволожувач – випаровувач можна розглядати як об'єкт з трьома інерційними ємностями.



1 - випромінювач; 2 – ємність з водою; 3 – екран; 4 – напрям руху повітря

Рисунок 1 – Терморадіаційний парогенератор

При складанні математичної моделі у вигляді диференціальних рівнянь теплового та матеріального балансів прийнято такі загальноприйняті для об'єктів даного типу припущення:

- повітрозволожувач розглядається як проточний апарат ідеального змішування;
- теплофізичні характеристики повітря, води і корпусу апарата від температури не залежать і в часі не змінюються;
- коефіцієнти тепло- і масообміну, теплопередачі від температури не залежать;
- температура повітря та пари, а також вологовміст і вологість повітря однакові в об'ємі камери і дорівнюють їх значенням на виході;
- теплообмін відбувається випромінюванням і конвекцією, масообмін за законом Дальтона, кондуктивною складовою теплопередачі нехтуємо.

Для вибраної математичної моделі з урахуванням наведених вище припущень складемо наступні диференціальні рівняння:

- рівняння збереження енергії для нагрівача-випромінювача

$$m_l c_l \frac{d\theta_l}{d\tau} = P - c_{np1} F_l (T_l^4 - T_w^4) - c_{np2} F_s (T_l^4 - T_s^4) - \alpha_l F_l (\theta_l - t_v); \quad (1)$$

- рівняння збереження енергії для води в корпусі

$$m_w c_w \frac{d\theta_w}{d\tau} = A_\lambda c_{np1} (T_l^4 - T_w^4) + c_{np3} F_s A_\lambda (T_s^4 - T_w^4) - r \frac{dW}{d\tau} - \alpha_w F_w (\theta_w - t_c); \quad (2)$$

- рівняння збереження енергії для екрана

$$m_s c_s \frac{d\theta_s}{d\tau} = c_{np2} F_s (T_l^4 - T_s^4) - c_{np3} F_s (T_s^4 - T_w^4) - \alpha_3 F_4 (\theta_s - t_c); \quad (3)$$

– рівняння збереження енергії для повітря

$$m_v c_v \frac{dt_v}{d\tau} = \alpha_v F_v (\theta_w - t_c) + r\beta (X''(\theta_w) - X_2) - Gc(t_v - t_1) + \alpha_l F_l (\theta_l - t_v); \quad (4)$$

– рівняння збереження маси для повітря

$$m_v \frac{dX_2}{d\tau} = G(X_1 - X_2) + \beta F_w (X''(\theta_w) - X_2); \quad (5)$$

– рівняння збереження маси для води

$$\frac{dW}{d\tau} = -\beta F_w (X''(\theta_w) - X_2). \quad (6)$$

В рівняннях (1) – (6) позначено:

θ_l – температура випромінювача, °C;

θ_w – температура води в піддонні, °C;

θ_s – температура екрану, °C;

c_{npi} – приведені коефіцієнти випромінювання для відповідних елементів конструкції, Вт/(м²·К⁴); F_l, F_w, F_s – поверхня випромінювача, води і екрана, м²;

P – потужність випромінювача, Вт;

$\alpha_l, \alpha_w, \alpha_s$ – коефіцієнти теплообміну (ефективні) між відповідними поверхнями, Вт/(м²·°C);

m_l, m_s – маса нагрівача і екрана, кг;

$m_w c_w = (m_w \epsilon_w + m_k c_k)$ – теплоємність води в корпусі, Дж/°C;

r – питома теплота випаровування, Дж/кг;

W – маса пари, кг;

A_λ – коефіцієнт поглинання випромінювача водою;

$m_v c_v$ – теплоємність повітря в об'ємі зволожувача;

β – коефіцієнт масовіддачі, кг/м²·с;

$\chi_1, \chi_2, \chi''(\theta_2)$ – вологовміст повітря на вході, виході та насиченого повітря при температурі поверхні води, кг/кг_{ср};

G – витрати повітря, кг/с.

Величина

$$c_{np} = \epsilon_{np1-2} \cdot c_0 \cdot \Phi_{1-2} \cdot 10^{-8}, \quad (8)$$

де $\epsilon_{np1-2} = (\epsilon_1^{-1} + \epsilon_2^{-1} - 1)^{-1}$ – коефіцієнти випромінювання робочих поверхонь;

c_0 – стала Стефана-Больцмана;

Φ_{1-2} – кутовий коефіцієнт опромінення поверхонь, $\Phi_{1-2} = \frac{a}{h \cdot \pi}$;

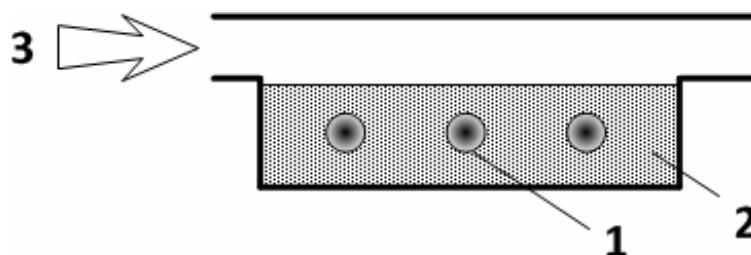
h – відстань від випромінювача до води,

a – половина ширини зони опромінення.

Величина ефективних коефіцієнтів теплообміну визначається, відповідно до [9] як сума коефіцієнтів конвективного і радіаційного теплообміну:

$$\alpha = \alpha_k + \alpha_p = \alpha_k + c_{np} \cdot 10^{-8} (T_1^2 + T_2^2) (T_1 + T_2).$$

Електрозволожувачі з заглибленими електронагрівачами та відкритою поверхнею являють собою неглибоку ($h=100$ мм) ванну де розміщені три ТЕНи потужністю 1,5 кВт кожний [3,4,5] рис. 2.



1 – ТЕНи; 2 – ємність з водою; 3 – напрям руху повітря

Рисунок 2 – Електрозволожувач

Динамічні властивості такого типу електрозволожувачів повітря можна описати такою системою диференціальних рівнянь, при врахуванні вище наведених припущень:

$$m_w c_w \frac{d\theta_w}{d\tau} = P_n \eta - r \beta F (P_n''(\theta_w) - P_v(d_2)) - \alpha F (\theta_w - t_2), \quad (9)$$

$$m_v c_v \frac{dt_v}{d\tau} = r \beta F (P_n''(\theta_w) - P_v(d_2)) + \alpha F (\theta_w - t_v) - G_v c_p (t_1 - t_v), \quad (10)$$

$$m_v \frac{dd_2}{d\tau} = G_v (d_1 - d_2) + \beta F (P_n''(\theta_w) - P_v(d_2)), \quad (11)$$

$$\frac{dm_n}{d\tau} = \beta F (P_n''(\theta_w) - P_v(d_2)), \quad (12)$$

$$P_n''(\theta_w) = e^{a - \frac{b}{\theta_w + c}},$$

де P_n – потужність та ККД нагрівальних елементів, Вт;

η – ККД нагрівальних елементів;

a, b, c – коефіцієнт апроксимації функції $P_n''(\theta_w)$;

F – поверхня води, що випаровує, m^2 .

Схема реалізації математичної моделі (1-6) в середовищі MatLab наведена на рис. 3.

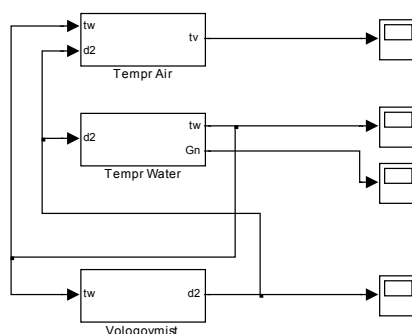


Рисунок 3 – Реалізація математичної моделі (1-6) в середовищі MatLab

Результати моделювання динаміки процесів нагрівання і випаровування води та зволоження повітря наведено на рис. 3-5.

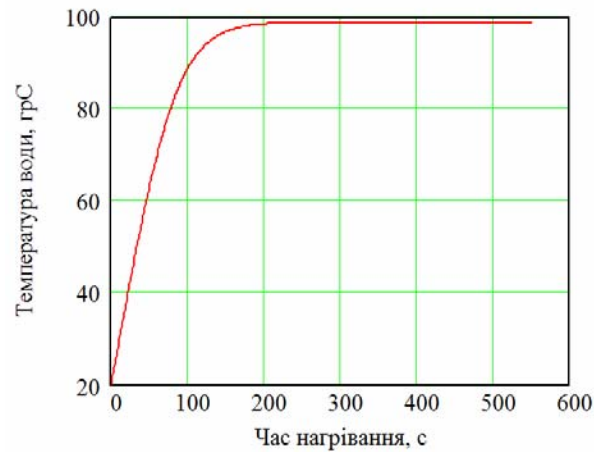


Рисунок 5 – Змінення температури води в парогенераторі з часом при вмиканні випромінювачів

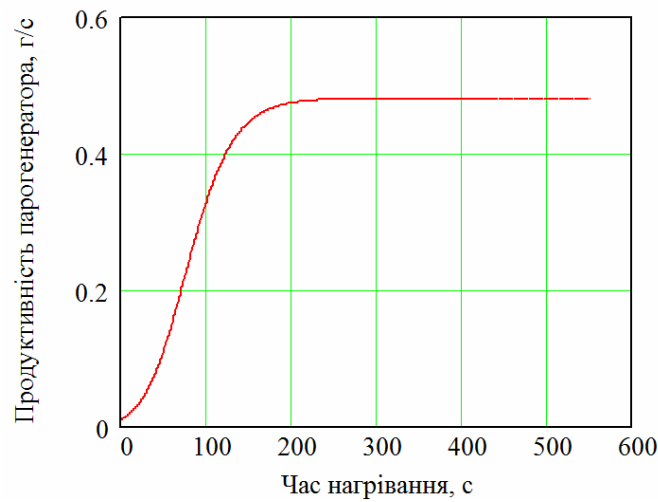


Рисунок 6 – Змінення продуктивності парогенератора

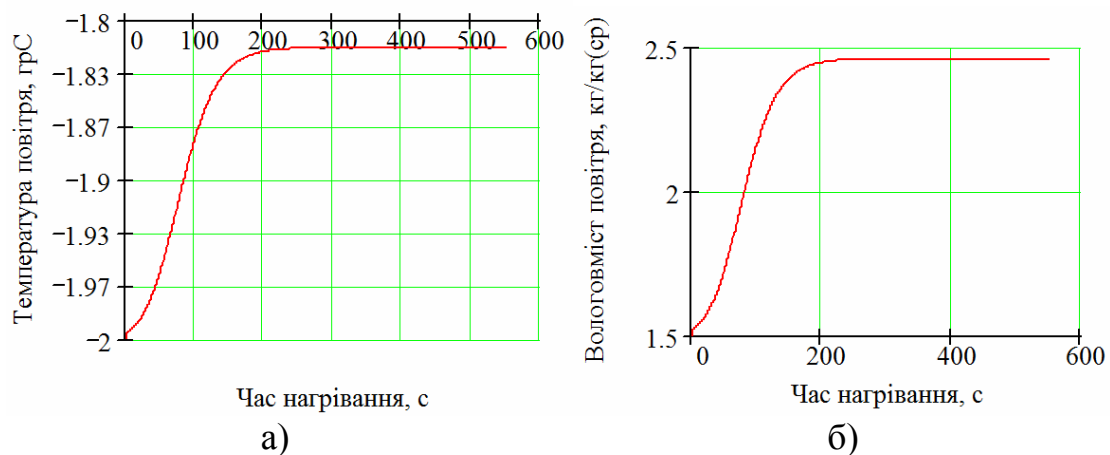


Рисунок 7 – Змінення параметрів повітря: а) температури; б) вологовмісту на виході з парозволожувача

Висновки.

1. Запропоновано математичну модель динаміки електричних парозволожувачів і визначено параметри їх роботи.

2. Отримані моделі можна використовувати для синтезу систем автоматичного регулювання установками даного типу.

Список літератури

1. Жадан В.З. Теплофизические основы хранения сочного растительного сырья на пищевых предприятиях. М.: Пищевая промышленность, 1976.- 238 с.
2. Агарёв Е.М., Латышев В.П., Мальцева Е.М. Системы тепловлажностной обработки воздуха для хранилищ плодоовощной продукции// Холодильная техника, 1989, №9.-С.12-15.
3. Мнацаканов Г.К., Косой С.М., Крымский А.Я., Воронина Л.А. Тепловлажностный режим камеры с воздушным охлаждением и увлажнением воздуха//Холодильная техника и технология, 1985, №41.-С.92-98.
4. Крымский Л.И., Мнацаканов Г.К. Исследование процессов тепло- и массообмена в увлажнителе воздуха для холодильных камер//Холодильная техника и технология, 1988, №47.-С.80-85.
5. Акменс П.Ю. Применение увлажнителей воздуха с открытой подогреваемой поверхностью испарения.- В кн.: Вентиляция и кондиционирование воздуха.- Рига: РПИ, вып.6.-С.3-10.
6. Трускова Л.А. Автономный электроувлажнитель для холодильных камер// Холодильная техника, 1973, №10.-С.24-26.
7. Ивахнов В.И., Тихомирова Л.Н., Божков А.Н., Артамонов С.А. Электропарогенератор СПП-25// Холодильная техника, 1986 №6.-С.25-27.
8. Икингрин И.Н., Чухман Г.И. Терморadiационный увлажнитель воздуха для автономных кондиционеров// Холодильная техника, 1978, №4.-С.27-30.
9. Гинзбург А.С. Инфракрасная техника в пищевой промышленности. М.: Пищевая промышленность, 1966. - 408 с.

Boris Kotov, Vladimir Gryshenko

National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine

Mathematical models of the dynamics of electric humidifiers

The article deals with steam humidifiers with infrared emitters placed above the water surface and the fuel elements immersed in the water. The mathematical model in the form of differential equations of heat and material balances humidifiers. By the identification of mathematical models and the obtained dynamic characteristics of the humidifier using MatLab / Simulink.

Conclusions.

1. A mathematical model of the electrical Humidifiers and the parameters of their work.
2. The models can be used for the synthesis of automatic control units of this type.

humidifiers, model of the process generating steam, mathematical model humidifiers

Одержано 24.10.13