

ІМІТАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМИ МІКРОКЛІМАТУ В ПТАХІВНИЧИХ ПРИМІЩЕННЯХ У ЛІТНІЙ ПЕРІОД

В. І. Троханяк, кандидат технічних наук, доцент

Т. І. Лендєл, кандидат технічних наук, доцент

В. В. Савченко, кандидат технічних наук, доцент

В.В. Ликтей, асистент

Національний університет біоресурсів і природокористування України

E-mail: trohaniak.v@gmail.com

Анотація. Сучасні системи мікроклімату для утримання птиці вимагають нових підходів. Системи охолодження та нагрівання повітря у середовищі пташника вимагають значних затрат води та енергоресурсів. Тому авторами запропоновано енергоефективну систему мікроклімату у пташниках з використанням низькопотенціальної енергії води на базі теплообмінників-рекуператорів та ґрунтових теплообмінників. Серед контрольних параметрів, що входять, найважливішими є температура в приміщенні, кількість шкідливих речовин і вологість повітря. Кількість забруднюючих речовин у повітрі визначається кількістю повітря, що надходить у приміщення, і кількістю тварин у ньому. При створенні математичної моделі системи вентиляції в пташнику складається матеріальний баланс шкідливих речовин. Одним із важливим чинників є витрати повітря. Знайдено апроксимаційні функції необхідного повітрообміну, а також необхідної кількості води в залежності від температури зовнішнього повітря. Залежно від необхідної витрати води з використанням магнітних клапанів будуть підключатися в роботу теплообмінники в автономному режимі. Один за одним. При температурі зовнішнього повітря +23 °С необхідно використовувати три теплообмінники з витратою води 2,5 м³/год, а в температурних межах від +35 °С до +40 °С необхідно шість теплообмінних апаратів з витратою води від 57 до 108 м³/год. Розроблено імітаційну модель тепло- масообміну в пташниках у літній період року із використанням теплообмінного обладнання в програмному комплексі MATLAB Simulink. Стала часу зміни вологості повітря в приміщенні дорівнюватиме часу, необхідному для встановлення уставки вологості в приміщенні, як тільки швидкість зміни вологості дорівнює початковій. Модельні дослідження показали, що стала часу нагрівання становить 118,4 с. Продуктивність системи вентиляції виражається наближеною функцією і знаходиться в межах від 36000 до 170000 м³/год. Фактично система імітаційної моделі стабілізується в літній період року за температурою та вологістю до 1000 с. Відносна вологість становить 60 %.

Ключові слова: імітаційна модель, пташник, теплообмінний апарат, вологісний режим, мікроклімат

Актуальність За інформативністю об'єкта тваринницька птахоферма відноситься до середніх типових об'єктів управління (ТОУ). Серед контрольних параметрів, що входять до нього, найважливішими є температура в приміщенні, кількість шкідливих речовин і вологість повітря. Кількість забруднюючих речовин у повітрі визначається кількістю повітря, що надходить у приміщення, і кількістю тварин у ньому. Температура в приміщенні визначається тепловтратами в довкілля та витратами на нагрівання повітря до температури у приміщенні. Слід зазначити, що життєдіяльність біологічного об'єкта ТОУ – тварин/птиці призводить до виділення тепла, що необхідно враховувати під час побудови моделі теплообміну в повітряному середовищі птахоферми та вологовиділення.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Автори у статті [1] запропонували нову систему охолодження в пташнику з використанням теплообмінних апаратів спеціальної конструкції [2]. Провели CFD моделювання потоків повітря і тепло-масообміну в приміщенні пташника. В них в якості охолоджувача використовується вода підземних свердловин. Дано рекомендації з вибору конструкції систем вентиляції в пташниках. У продовженні цих досліджень [3] автори оптимізували висоту витяжних вентиляторів. Показано, що вентиляційне обладнання доцільно встановлювати на висоті 1,5 м. При цьому зменшується величина застійних зон та нерівномірність розподілу швидкості повітря поблизу птиці.

З метою зниження витрати енергії та підвищення якісних показників повітряного середовища під час забезпечення необхідних умов утримання птиці [4] автори провели експериментальні дослідження та чисельне моделювання. У процесі досліджень досягнули зменшення енерговитрат для забезпечення мікроклімату під час вирощування бройлерів. Підвищили якість повітряного середовища пташників. Це дало змогу зменшити витрати кормів та втрати поголів'я птиці і, як результат, підвищити економічну ефективність виробництва та якість готової продукції.

У працях [5-7] автори досліджували доцільність використання технології IoT у сільськогосподарському виробництві та розробці енергоефективного методу управління модульним електричним комплексом.

Мета дослідження – імітаційне моделювання тепломасообміну системи вентиляції пташника з використанням теплообмінників у літній період року.

Матеріали та методи дослідження. При створенні математичної моделі системи вентиляції в пташнику складається матеріальний баланс шкідливих речовин. Одним із важливим чинників є витрати повітря. Цей параметр використовується за каналом регулювання чистоти подачі повітря в приміщення та за каналом регулювання температури. Що і є параметром керування. Витрата повітря в літній період року розраховуються в залежності від багатьох факторів, які знаходяться в повітрі пташника: вуглекислого газу, метану, вологи, видалення надлишкової теплоти тощо. Однак для регулювання системи мікроклімату вибирають той чинник, який потребує найбільше значення повітрообміну. Використовуючи традиційну методику розрахунку [8, 9] необхідного повітрообміну в пташнику в літній період року, найбільшим параметром є видалення надлишкової теплоти. Цей параметр брали за основу. Значення необхідного повітрообміну V_v в імітаційній моделі (див. рис. 1) виражений апроксимаційною функцією (1) в залежності від зовнішньої температури повітря t_z .

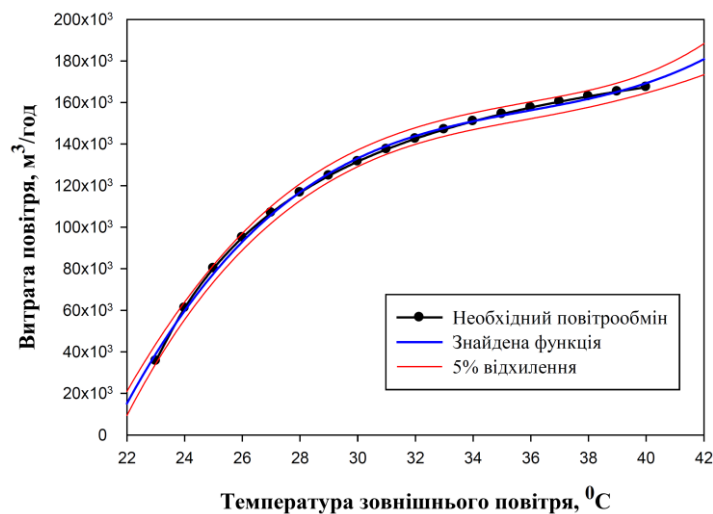


Рис. 1. Необхідний повітрообмін у пташнику в залежності від зовнішньої температури повітря в літній період року

Знайдено апроксимаційну функцію (1). Вона показує необхідний повітрообмін у літній період року для видалення надлишкової теплоти з пташника, яка залежить

від температури зовнішнього повітря, з похибкою апроксимації, яка не перевищує 5 % (див. рис. 1):

$$f(x) = -176904274149 + 1560749389 \cdot x - 4284633 \cdot x^2 + 39,8559 \cdot x^3 \quad (1)$$

де x – температура зовнішнього повітря (22, 23...40), °С.

Розрахунок системи вентиляції та опалення в літню пору року проводився за відомими методиками [8, 9]. На рис. 1 показаний графік залежності кількості повітря, що видаляє надлишкове тепло з пташника, від зовнішньої температури повітря. Необхідний повітрообмін у літній період у пташнику становить 168 200 м³/год при температурі +40 °С. При температурі зовнішнього повітря +23 °С мінімальний повітрообмін становить 36 000 м³/год. Видалення всієї вологи, вуглекислого газу та аміачних відкладень знаходиться в зазначених межах.

У статичному режимі кількість тепла, що надходить у приміщення з тваринами Q_t і додаткового обігрівання Q_{TA1} , на нагрівання вентиляційного повітря Q_v дорівнює кількості тепла, що втрачається і віддачі тепла в довкілля Q_w , а також сумарному відбору тепла Q_{TA} в літній сезон від припливної вентиляції. Додаткове нагрівання Q_d моделі дорівнює нулю. Витрата води G_{water} [10, 11] для теплообмінників використовується в моделі та виражається апроксимаційною функцією для літнього сезону (5). Розробку математичної моделі тепломасообміну проводили на об'єктах птахофабрики у літній сезон року [12].

Тепловий баланс в приміщенні пташника у літній період року:

$$Q_t + Q_d - Q_v - Q_w - Q_{TA} = 0 \quad (2)$$

Для створення математичної моделі в системі MATLAB Simulink наведемо рівняння динаміки процесу теплообміну до форми Коші та запишемо його у вигляді:

$$\frac{dt_p}{d\tau} = \frac{t_z}{T_{f1}} + \frac{Q_d + Q_t}{(KF_p + K_v) \cdot T_{f1}} - \frac{t_p}{T_{f1}} \quad (3)$$

Стала часу зміни вологості повітря в приміщенні T_{f1} дорівнюватиме часу, необхідному для встановлення уставки вологості в приміщенні, як тільки швидкість зміни вологості дорівнює початковій. Цей параметр залежить від місткості ТОВ та об'єму приміщення. Позначимо постійний час нагріву ТОВ, с:

$$T = \frac{V_p \rho_p C_p}{(KF_p + V_v \rho_p C_p)} \quad (4)$$

де V_p – об’єм приміщення ферми, м^3 ; c_p – теплоємність повітря, $\text{Дж}/(\text{кг град})$; F_p – площа поверхні перекриття і стін птахоферми, м^2 ; ρ_p – густина припливного повітря, $\text{кг}/\text{м}^3$; K – коефіцієнт теплопередачі перекриття і стін приміщення птахоферми, $\text{Вт}/(\text{м}^2 \text{град})$; q – середнє тепловиділення тварини, Дж , n – кількість птиці на птахофермі, шт.; V_v - витрата вентиляційного повітря, $\text{м}^3/\text{с}$.

Результати досліджень та їх обговорення. За допомогою графічних залежностей (див. рис. 2) можна побудувати алгоритми управління електротехнічним комплексом у пташнику. Використовуючи воду з підземних свердловин для охолодження припливного повітря в пташнику за допомогою теплообмінних апаратів у літній періоді року, побудовано графіки витрати води. За допомогою циркуляційного насоса теплоносій циркулює в системі. Витрата води (див. рис. 2) регулюється залежно від зовнішньої температури повітря. Залежно від необхідної витрат води, з використанням магнітних клапанів, будуть підключатися в роботу теплообмінники в автономному режимі. Один за одним. При температурі зовнішнього повітря $+23 \text{ }^\circ\text{C}$ необхідно використовувати три теплообмінники з витратою води $2,5 \text{ м}^3/\text{год}$, а в температурних межах від $+35 \text{ }^\circ\text{C}$ до $+40 \text{ }^\circ\text{C}$ необхідно шість теплообмінних апаратів з витратою води від 57 до $108 \text{ м}^3/\text{год}$ (рис. 2).

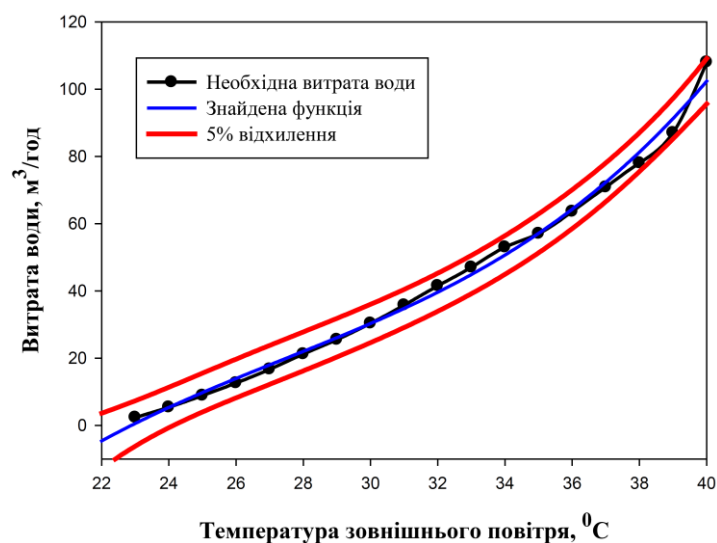


Рис. 2. Необхідна витрата води ($\text{м}^3/\text{год}$) в залежності від зовнішньої температури повітря ($^\circ\text{C}$)

Знайдено апроксимаційну залежність (5), що описує витрату води, необхідну для охолодження припливного повітря в літній період до температури зовнішнього повітря з похибкою апроксимації, яка не перевищує 5 % (див. рис. 2):

$$f(x) = -424,4919 + 40,58091 \cdot x - 1,3338 \cdot x^2 + 0,016131 \cdot x^3 \quad (5)$$

де, x – температура зовнішнього повітря (22, 23...40), °С.

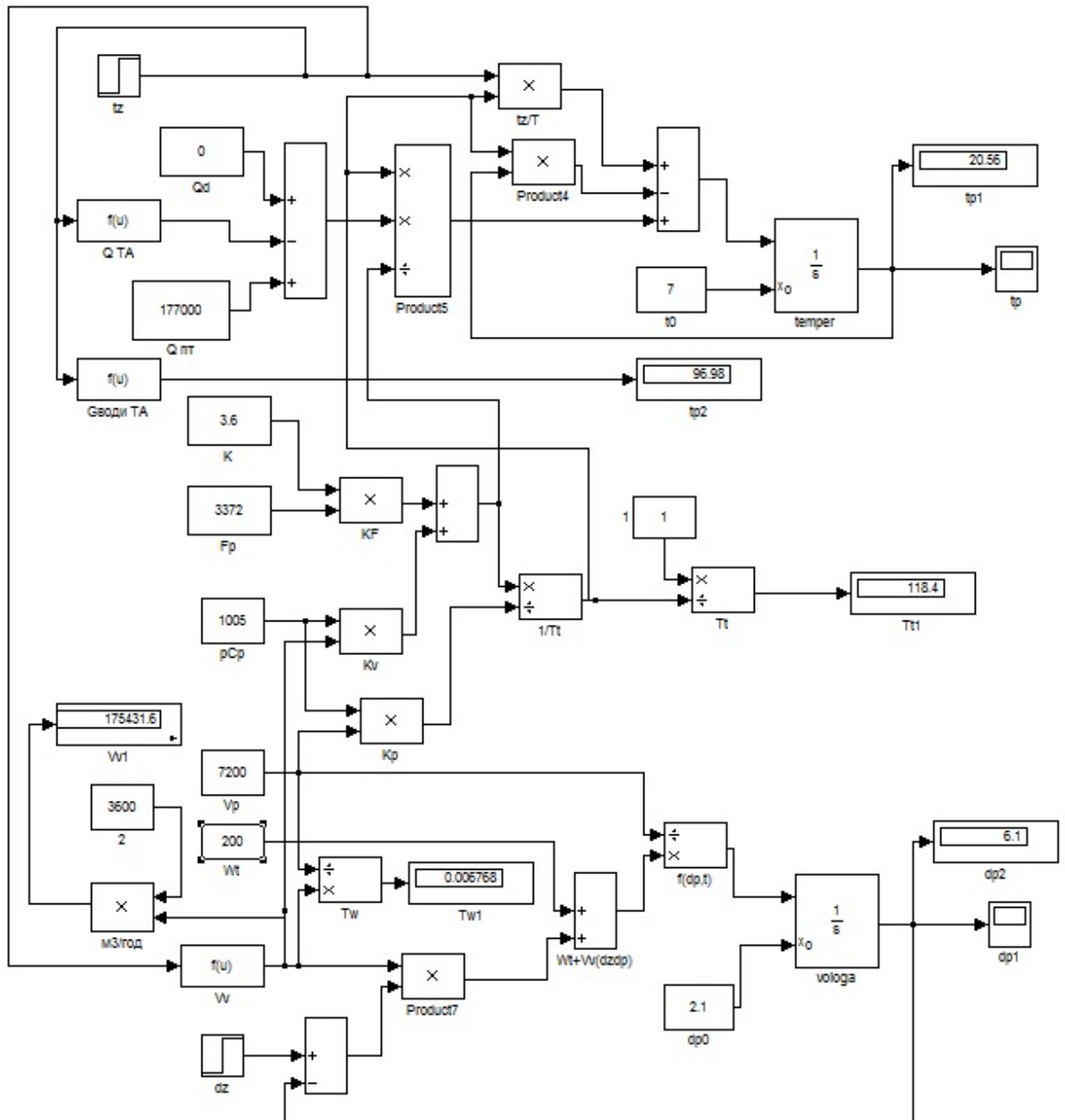
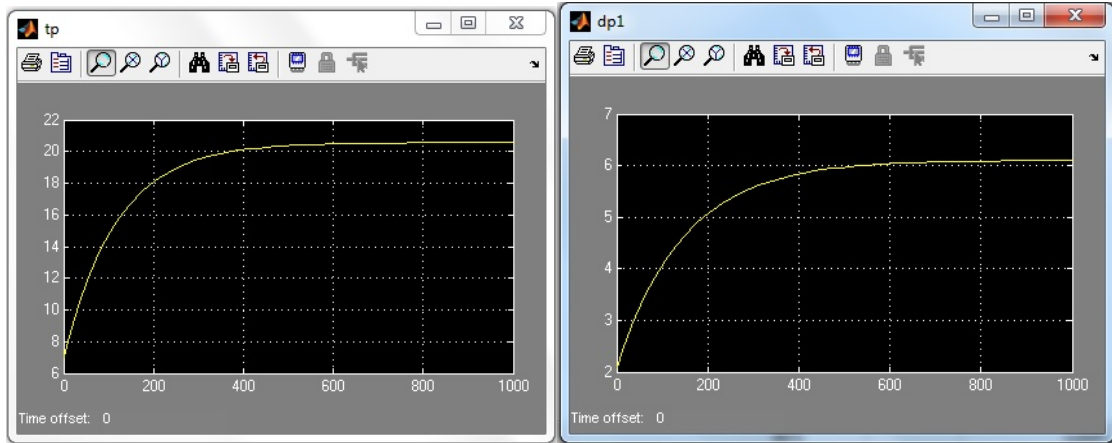


Рис. 3. Схема імітаційної моделі вентиляції птахівничого приміщення в літній період року, виражена у блоках Simulink MATLAB

Продуктивність V_V системи вентиляції виражається наближеною функцією (1) і знаходиться в межах від 36000 до 170000 м³/год. Фактично система імітаційної моделі стабілізується в літній період року за температурою та вологістю до 1000 с. Відносна вологість 60 % (рис. 4).



a

б

Рис. 4. Криві прискорення зміни температури (а) та вологості (б) у пташнику в літній період

Висновки і перспективи. Математичне імітаційне моделювання системи мікроклімату в пташниках у літній період здійснювалося з використанням системи MATLAB Simulink. Встановлено, що необхідний повітрообмін системи вентиляції влітку за температурою та вологістю стабілізується до 1000 с. Відносна вологість складає 70 %.

При температурі зовнішнього повітря +23 °С необхідно використовувати три теплообмінники з витратою води 2,5 м³/год, а в температурних межах від +35 °С до +40 °С необхідно шість теплообмінних апаратів з витратою води від 57 до 108 м³/год.

Список використаних джерел

1. Gorobets V.G., Trokhaniak V.I., Antypov I.O., Bohdan Yu.O. The numerical simulation of heat and mass transfer processes in tunneling air ventilation system in poultry houses. INMATEH: Agricultural Engineering. 2018. Вип. 55. № 2. С. 87-96.
2. Gorobets V.G., Bohdan Yu.O., Trokhaniak V.I., Antypov I.O. Experimental studies and numerical modelling of heat and mass transfer process in shell-and-tube heat

exchangers with compact arrangements of tube bundles. MATEC Web of Conferences. 2018. Вип. 240. 02006. <https://doi.org/10.1051/matecconf/201824002006>.

3. Gorobets V.G., Trokhaniak V.I., Rogovskii I.L., Titova L.L., Lendiel T.I., Dudnyk A.O., Masiuk M.Y. The numerical simulation of hydrodynamics and mass transfer processes for ventilating system effective location. INMATEH: Agricultural Engineering. 2018. Вип. 56. № 3. С. 185-192.

4. Trokhaniak V.I., Rutylo M.I., Rogovskii I.L., Titova L.L., Luzan O.R., Bannyi O.O. Experimental studies and numerical simulation of speed modes of air environment in a poultry house. INMATEH Agricultural Engineering. 2019. Вип. 59. № 3. С. 9-18. <https://doi.org/10.35633/INMATEH-59-01>.

5. Kiktev N., Lendiel T., Osypenko V. Application of the internet of things technology in the automation of the production of compound feed and premixes // Paper presented at the CEUR Workshop Proceedings. 2021. Вип. 2833. С. 124-133.

6. Lysenko V., Lendiel T., Komarchuk D. Phytomonitoring in a greenhouse based on arduino hardware. Paper presented at the 2018 International Scientific-Practical Conference on Problems of Infocommunications Science and Technology, PIC S and T 2018 – Proceedings. 2019. С. 365-368. <https://doi.org/10.1109/INFOCOMMST.2018.8632030>.

7. Korobiichuk I., Lysenko V., Reshetiuk V., Lendiel T., Kamiński M. Energy-efficient electrotechnical complex of greenhouses with regard to quality of vegetable production // Advances in Intelligent Systems and Computing. 2017. Вип. 543. С. 243-251. https://doi.org/10.1007/978-3-319-48923-0_30.

8. Захаров А.А. Применение теплоты в сельском хозяйстве. М.: Агропромиздат, 1986. 288 с.

9. Кашенко П.С., Біленко О.І., Устименко О.А та ін. Курсове і дипломне проектування. Монтаж, обслуговування та ремонт електротехнічних установок в АПК: навчальний посібник. Київ: Аграрна освіта, 2008. 502 с.

10. Горобець В. Г., Троханяк В. І. Моделювання процесів переносу та теплогідрравлічна ефективність кожухотрубного теплообмінника з компактним розташуванням пучків труб. Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія «Техніка та енергетика АПК». 2014. Вип. 194, Ч. 2. С. 147–155.

11. Троханяк В. І. Визначення коефіцієнта тепловіддачі при чисельному моделюванні трубного пучка. Праці Таврійського державного агротехнологічного університету. 2015. Вип. 15. Т. 2. С. 332–337.

12. Троханяк В. І. Система енергозбереження у пташниках із використанням низькопотенціальної енергії ґрунту. Київ: «ЦП «Компринт», 2018. 386 с.

References

1. Gorobets, V.G., Trokhaniak, V.I., Antypov, I.O., Bohdan, Yu.O. (2018). The numerical simulation of heat and mass transfer processes in tunneling air ventilation system in poultry houses. INMATEH: Agricultural Engineering, 55 (2), 87-96.

2. Gorobets, V.G., Bohdan, Yu.O., Trokhaniak, V.I., Antypov, I.O. (2018). Experimental studies and numerical modelling of heat and mass transfer process in shell-

and-tube heat exchangers with compact arrangements of tube bundles. MATEC Web of Conferences, 240, 02006. <https://doi.org/10.1051/matecconf/201824002006>.

3. Gorobets, V.G., Trokhaniak, V.I., Rogovskii, I.L., Titova, L.L., Lendiel, T.I., Dudnyk, A.O., Masiuk, M.Y. (2018). The numerical simulation of hydrodynamics and mass transfer processes for ventilating system effective location. INMATEH: Agricultural Engineering, 56 (3), 185-192.

4. Trokhaniak, V.I., Rutylo, M.I., Rogovskii, I.L., Titova, L.L., Luzan, O.R., Bannyi, O.O. (2019). Experimental studies and numerical simulation of speed modes of air environment in a poultry house. INMATEH Agricultural Engineering, 59 (3), 9-18. <https://doi.org/10.35633/INMATEH-59-01>.

5. Kiktev, N., Lendiel, T., Osypenko, V. (2021). Application of the internet of things technology in the automation of the production of compound feed and premixes. Paper presented at the CEUR Workshop Proceedings, 2833, 124-133.

6. Lysenko, V., Lendiel, T., Komarchuk, D. (2019). Phytomonitoring in a greenhouse based on arduino hardware. Paper presented at the 2018 International Scientific-Practical Conference on Problems of Infocommunications Science and Technology, PIC S and T 2018 – Proceedings, 365-368. <https://doi.org/10.1109/INFOCOMMST.2018.8632030>.

7. Korobiichuk, I., Lysenko, V., Reshetiuk, V., Lendiel, T., Kamiński, M. (2017). Energy-efficient electrotechnical complex of greenhouses with regard to quality of vegetable production. Advances in Intelligent Systems and Computing, 543, 243-251. https://doi.org/10.1007/978-3-319-48923-0_30.

8. Zakharov, A.A. (1986). *Primeneniye teploty v sel'skom khozyaystve* [The use of heat in agriculture]. Moscow: Agropromizdat, 288.

9. Kashenko, P.S., Bilenko, O.I., Ustymenko, O.A. et al. (2008). *Kursove i dyplomne proektuvannya. Montazh, obsluhovuvannya ta remont elektrotekhnichnykh ustanovok v APK* [Course and diploma design. Installation, maintenance and repair of electrical installations in the agricultural sector]. Kyiv: Ahrarna osvita, 502.

10. Horobets, V. H., Trokhaniak, V. I. (2014). Modeliuvannya protsesiv perenosu ta teplohidravlitchna efektyvnist kozhukhotrubnoho teploobminnyka z kompaktnym roztashuvanniam puchkiv trub [The heat exchanger, tube bundle, thermal-hydraulic performance, mathematical modeling, flow rate, hydraulic losses, temperature]. *Naukovyi visnyk Natsionalnoho universytetu bioresursiv i pryrodokorystuvannya Ukrainy. Seriiia «Tekhnika ta enerhetyka APK»*, 194 (2), 147–155.

11. Trokhaniak, V. I. (2015). Vyznachennia koefitsiienta teploviddachi pry chyselnomu modeliuvanni trubnoho puchka [Definition of coefficient of heat transfer numerical simulation tube bundle]. *Pratsi Tavriiskoho derzhavnoho ahrotekhnolohichnoho universytetu*, 15 (2), 332–337.

12. Trokhaniak, V. I. (2018). *Systema enerhozberezhennia u ptashnykakh iz vykorystanniam nyzkopotentsialnoi enerhii gruntu* [Power saving system in poultry-houses with usage of soil low-potential energy]. Kyiv: «PC «Komprint», 386.

SIMULATION MODELING OF THE MICROCLIMATE SYSTEM IN POULTRY HOUSES IN THE SUMMER

V. Trokhaniak, T. Lendiel, V. Savchenko

Abstract. *Modern microclimate systems for keeping poultry require new approaches. Air cooling and heating systems in the poultry house environment require significant water and energy resources. Therefore, the authors proposed an energy-efficient microclimate system in poultry houses using low-potential water energy from the use of shell and tube heat exchangers and soil heat exchangers. Among the included control parameters, the most important are the temperature in the room, the amount of harmful substances and air humidity. The amount of pollutants in the air is determined by the amount of air entering the room and the number of animals in it. When creating a mathematical model of the ventilation system in the poultry house, a material balance of harmful substances is created. One of the important factors is air consumption. Approximate functions of the required air exchange, as well as the required amount of water depending on the temperature of the outside air, were found. Depending on the required water consumption, the heat exchangers will be connected to work in autonomous mode using magnetic valves. One by one. At an outside air temperature of +23 °C, it is necessary to use three heat exchangers with a water consumption of 2.5 m³/h. And in the temperature range from +35 °C to +40 °C, six heat exchangers with a water consumption of 57 to 108 m³/h are needed. A simulation model of heat and mass exchange in poultry houses in the summer period of the year was developed using heat exchange equipment in the MATLAB Simulink software complex. The indoor humidity change time constant will be equal to the time required to establish the indoor humidity set point once the humidity change rate is equal to the initial one. Model studies showed that the constant duration heating is 118.4 s. The productivity of the ventilation system is expressed as an approximate function and ranges from 36,000 to 170,000 m³/h. In fact, the simulation model system stabilizes in the summer period of the year in terms of temperature and humidity for up to 1000 seconds. Relative humidity is 60 %.*

Key words: *simulation model, bird house, heat exchanger, humidity regime, microclimate*