

**ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНІ КОМПЛЕКСИ ТА СИСТЕМИ**

УДК 536.24

**КОМП'ЮТЕРНЕ МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ
ПРОЦЕСІВ ТЕПЛО- І МАСОПЕРЕНОСУ ПРИ ВЕНТИЛЯЦІЇ
ПОВІТРЯ В ПТАХІВНИЧИХ ПРИМІЩЕННЯХ**

Горобець В.Г., д.т.н.,

Троханяк В.І., інж.

Національний університет біоресурсів і природокористування України

Тел/факс (044) 527-8097

Анотація – проведено математичне моделювання процесів тепло- і масоперееносу при вентиляції повітря в птахівничих приміщеннях. Для охолодження припливного повітря запропоновані нові конструкції теплообмінних апаратів, в яких в якості охолоджувача використовується вода підземних свердловин. В результаті чисельного моделювання отримані поля швидкостей, температур і тисків у пташнику використовуючи програмний продукт САПР ANSYS Fluent. Дано рекомендації по вибору конструкції систем вентиляції в пташниках.

Ключові слова – Математичне моделювання, процеси тепло- і масоперееносу, поле швидкостей, температура, пташник, теплообмінник-рекуператор.

Постановка проблеми. Охолодження припливного повітря тваринницького приміщення, зокрема пташника без підвищення відносної вологості в приміщенні.

Аналіз останніх досліджень. Фізіологічний стан птиці та продуктивність птахоферм залежить від мікроклімату, який підтримується в птахівничих приміщеннях. При невідповідності основних параметрів мікроклімату оптимальним зоогігієнічним параметрам приріст маси курей-бройлерів знижується на 20-30%, несучість птиці зменшується на 30%, а втрати молодняку досягають 30%, що призводить до значних економічних перевитрати при виробництві продукції [1].

Тепловий і вологісний режим пташника встановлюється в результаті тепло- і масообмінних процесів, що протікають як усередині приміщення, так і через його зовнішнє огороження. Цей режим формується під впливом системи опалення та вентиляції в залежності від



метеорологічних параметрів зовнішнього повітря і теплотехнічних характеристик будівельних конструкцій.

Суть роботи полягає в проведенні теоретичних досліджень, пов'язаних з регулюванням теплообмінних процесів в пташниках, що відбуваються як усередині приміщення, так і через його зовнішнє огороження в залежності від метеорологічних параметрів зовнішнього повітря і теплотехнічних характеристик будівельних конструкцій. Отримані дані розрахунків дають можливість провести правильний вибір таких конструкцій і систем вентиляції пташників.

Формулювання цілей статті. Проведення чисельного математичного моделювання переносів тепло- і масопереносу та розрахунку локальних гідродинамічних і теплових характеристик припливного повітря в птахівничих приміщеннях в літній період часу за допомогою пакету САПР ANSYS Fluent 14 та розробці нового способу охолодження пташників за допомогою теплообмінника-рекуператора, який використовується в якості охолоджувача воду підземних свердловин.

Основна частина. Тунельна вентиляція птахівничих приміщень в переважній більшості використовується в літній період року (при температурі понад 26 °С), що дає можливість забезпечити видалення надлишкового тепла, яке виділяється птахом. Слід зауважити, що при високих температурах навколишнього середовища і високої вологості повітря необхідна спеціальна система пристроїв для його охолодження і створення оптимального мікроклімату в пташнику. У вентиляційних системах для зниження температури припливного повітря в літній період часу часто використовують охолоджуючі системи різного типу, в переважній більшості шляхом розпилення води. У роботі пропонується новий спосіб охолодження зовнішнього повітря використовуючи рекуперативний теплообмінник, в якому холодним теплоносієм є вода з підземних свердловин [2]. Це дає можливість знижувати температуру зовнішнього повітря не підвищуючи вологість повітря, що характерно, наприклад, для систем охолодження з розпиленням води.

На рис. 1 схематично показано напрямок руху повітря в пташниковому приміщенні. Спосіб охолодження припливного повітря, пропонується, працює таким чином. Тепле повітря із зовнішнього середовища надходить в приміщення пташника 1 через теплообмінники-рекуператори 2 ($S_1, S_2 \dots S_{10}$), які встановлені у вентиляційні вікна. Після проходження всіх секцій теплообмінника 2, охоложене повітря надходить в птахівниче приміщення 1.

Видалення відпрацьованого повітря обслуговуючої зони здійснюється індивідуальними вентиляційними установками 3 ($\phi_1, \phi_2 \dots \phi_7$). Рух повітря в приміщенні 1 здійснюється за рахунок різниці атмосферного тиску на вході в теплообмінник 2 і на виході з вентиляційних установок 3.

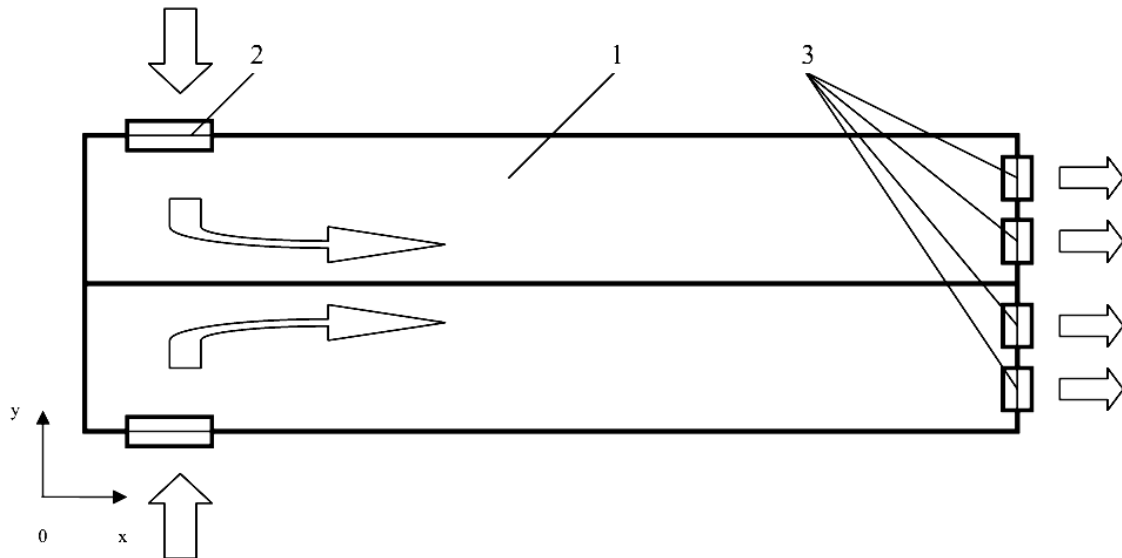


Рис. 1. Схема руху повітря в пташнику (вид зверху).

Комп'ютерне математичне моделювання процесів переносу в пташиному приміщенні. Проведено чисельне математичне моделювання гідродинамічних процесів і процесів перенесення теплоти в пташнику. Для цього використано метод комп'ютерного (CFD) моделювання на базі програмного комплексу ANSYS Fluent. В основі математичної моделі лежать рівняння Нав'є-Стокса [3] і рівняння переносу енергії для конвективних течій. У розрахунках застосована модель турбулентності Spalarta-Allmarasa [4-6]. Розрахунки проведені з використанням і без використання охолоджуючого рекуперативного теплообмінного апарату.

Рівняння Нав'є-Стокса:

$$\left. \begin{aligned} \rho \left(\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} \right) &= -\frac{\partial p}{\partial x} + \mu \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \right), \\ \rho \left(\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} \right) &= -\frac{\partial p}{\partial y} + \mu \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \right), \\ \rho \left(\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} \right) &= -\frac{\partial p}{\partial z} + \mu \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \right), \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

де ρ – щільність середовища, кг/м^3 ;

μ – динамічна в'язкість середовища, $\text{Па}\cdot\text{с}$;

p – тиск, Па ;

u, v, w , – векторне поле швидкостей;

t – час, с .

Рівняння нерозривності:



$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0, \quad (2)$$

Рівняння збереження енергії

$$\rho C_p \left(V_x \frac{\partial T}{\partial x} + V_y \frac{\partial T}{\partial y} + V_z \frac{\partial T}{\partial z} \right) = \frac{\partial}{\partial x} \left(\lambda \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\lambda \frac{\partial T}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\lambda \frac{\partial T}{\partial z} \right). \quad (3)$$

де T – температура в деякій точці, K^0 ;

λ – коефіцієнт теплопровідності середовища, $Вт / м \cdot K^0$;

C_p – питома теплоємність середовища, $Дж / кг \cdot K^0$.

Граничні умови. Задаємо граничні умови (див. рис. 1) на вхідних вентиляційних отворах передньої торцевої стінки:

$$y'_{Si} \leq y \leq y''_{Si}; z'_{Si} \leq z \leq z''_{Si}; i = 1, 2, \dots, 6; S_i(y = \pm M / 2, x, z); \quad (4)$$

$$W = W_{ex}; T = T_{зов}$$

на вхідних вентиляційних отворах бокових стінок:

$$x'_{Si} \leq x \leq x''_{Si}; z'_{Si} \leq z \leq z''_{Si}; i = 7, 8, \dots, 10; S_i(y = \pm M / 2, x, z); \quad (5)$$

$$W = W_{ex}; T = T_{зов}$$

на вихідних вентиляційних отворах, де розташовані вентилятори на задній торцевій стінці:

$$y'_{\varphi_i}(z) \leq y \leq y''_{\varphi_i}(z); z'_{\varphi_i}(y) \leq z \leq z''_{\varphi_i}(y); i = 1, 2, \dots, 7; \varphi_i(x = L, y, z); \quad (6)$$

$$W = W_{exit}; \left. \frac{\partial T}{\partial x} \right|_{x=L} = 0.$$

умови прилипання повітряного теплоносія на передній торцевій стінці:

$$-M / 2 \leq y \leq M / 2; 0 \leq z \leq H + h(y); 0 \leq h(y) \leq h_{\max}; \quad (7)$$

$$y \notin S_i(x = 0, y, z); i = 1, 2, \dots, 6; W = 0; T = T_{cm}.$$

умови прилипання на задній торцевій стінці:



$$-M/2 \leq y \leq M/2; 0 \leq z \leq H + h(y); 0 \leq h(y) \leq h_{\max}; \quad (8)$$

$$y \notin \varphi_i(x = L, y, z); i = 1, 2 \dots 7; W = 0; T = T_{cm}.$$

умови прилипання на бокових стінках та перекритті:

$$y = \pm M/2; 0 \leq x \leq L; 0 \leq z \leq H + h(y); y \notin S_i(y = \pm M/2, x, z); \quad (9)$$

$$z \notin S_i(y = \pm M/2, x, z); i = 7, 8 \dots 10; W = 0; T = T_{cm}.$$

де $S_i(x \leq 0, y, z)$ – функція яка описує границі вхідних вентиляційних отворів;

$\varphi_i(x = L, y, z)$ – функція яка описує границі вихідних вентиляційних отворів;

L – довжина бокових стінок пташника, м;

M – ширина передньої та задньої торцевої стінки, м;

H – висота пташника, м;

$h(y)$ – функція висоти покрівлі в перерізі Oy , м;

$T_{ст}$ – температура стінки, $^{\circ}C$;

$T_{зов}$ – зовнішня температура, $^{\circ}C$;

$W_{вх}$ – вхідна швидкість повітря в пташник, м/с;

$W_{вих}$ – вихідна швидкість повітря з пташника, м/с.

Модель турбулентності Spalarta-Allmarasa:

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho \tilde{v}) + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho \tilde{v} u_i) = G_v + \frac{1}{\sigma_{\tilde{v}}} \left[\frac{\partial}{\partial x_i} \left\{ (\mu + \rho \tilde{v}) \frac{\partial \tilde{v}}{\partial x_i} \right\} + C_{b2\rho} \left(\frac{\partial \tilde{v}}{\partial x_i} \right)^2 \right] - Y_v + S_{\tilde{v}} \quad (10)$$

де G_v – виробництво турбулентної в'язкості;

Y_v – знищення турбулентної в'язкості, що відбувається в пристіночній області через стіни блокування і в'язке затухання;

σ_{\square} і C_{b2} – константи;

ν – є молекулярна кінематична в'язкість;

S_{\square} – є вихідний термін визначається користувачем.

Всі розрахунки виконані при масовому витраті повітря 170 кг/с. Температура зовнішнього повітря приймається рівною $40^{\circ}C$. Стіни і підлога виконані з керамзит-бетону товщиною відповідно 200 мм. Розрахунок виконаний двічі, без використання теплообмінника-рекуператора і з ним. В якості теплоносіїв в теплообміннику-рекуператорі вибрано зовнішнє повітря з температурою на вході $40^{\circ}C$. Що в свою чергу дасть вихід $20^{\circ}C$, воду, що надходить з підзе-

мних свердловин при температурі 10°C . У птахівницьких приміщеннях знаходиться птах при підлоговому її змісті, яка є джерелом тепло-виділення.

Результати досліджень. Результати розрахунків для птахівничого приміщення наведено на рис. 2 – 5.

На рис. 2 – 3 наведені температурні розподілу в обслуговуючій зоні. При використанні теплообмінника-рекуператора, вхідна температура в приміщенні становить 20°C . Вихідна температура охолодженого повітря становить близько 27°C за рахунок виділення тепла птахом. Таким чином птах омивається теплим повітрям в межах норми що запобігає тепловому стресу птиці. Поле температур приміщення пташника також носить неоднорідний характер, коливається в межах від 20 до 40°C . Поблизу стінки температура вища за рахунок підвищеної температури зовнішнього повітря.

На рис. 4 показано розподілу температури зі вхідній температурою зовнішнього повітря 40°C , без використання теплообмінника-рекуператора. Найбільш спекотні зони знаходяться якраз в місцях розміщення з птахами. Для двох різних моделей середня швидкість повітря досягає $1,95$ м/с, що повністю відповідає нормам технічного проектування птахівничих підприємств [7].

На рис. 5 показано лінії току в приміщенні.

В результаті чисельного комп'ютерного моделювання процесів тепло- і масопереносу вентиляційного повітря проведено аналіз розподілів температур, тиску і швидкостей припливного повітря в пташнику для системи тунельної вентиляції в літній період часу.

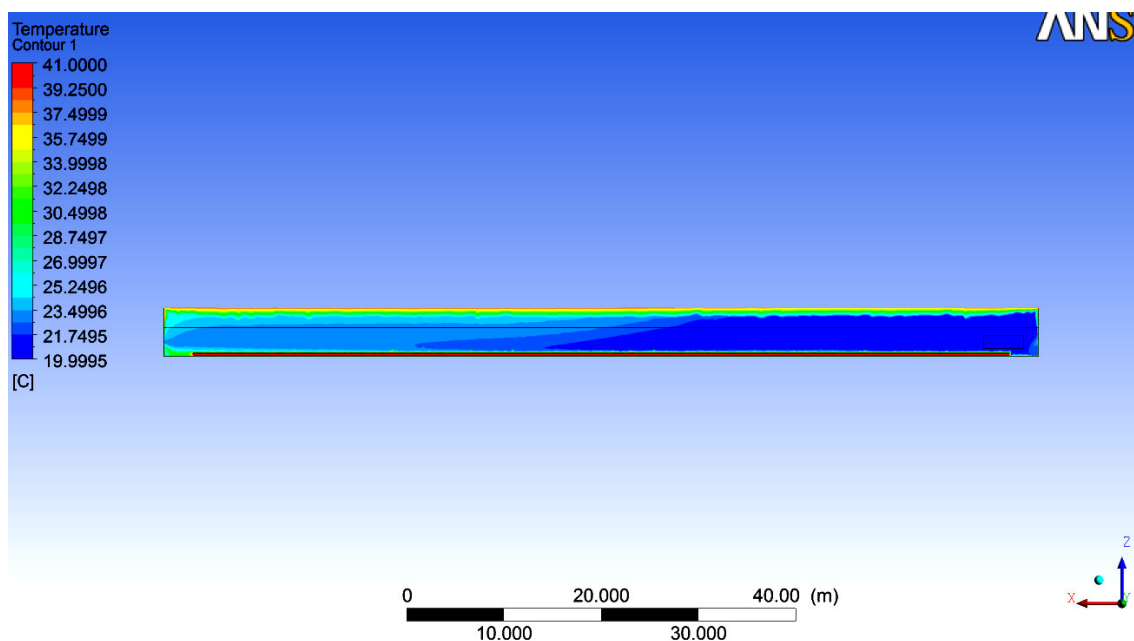


Рис. 2. Зміна температурних полів в поздовжньому перетині будівлі по середній лінії на відстані 6 м від стінки.

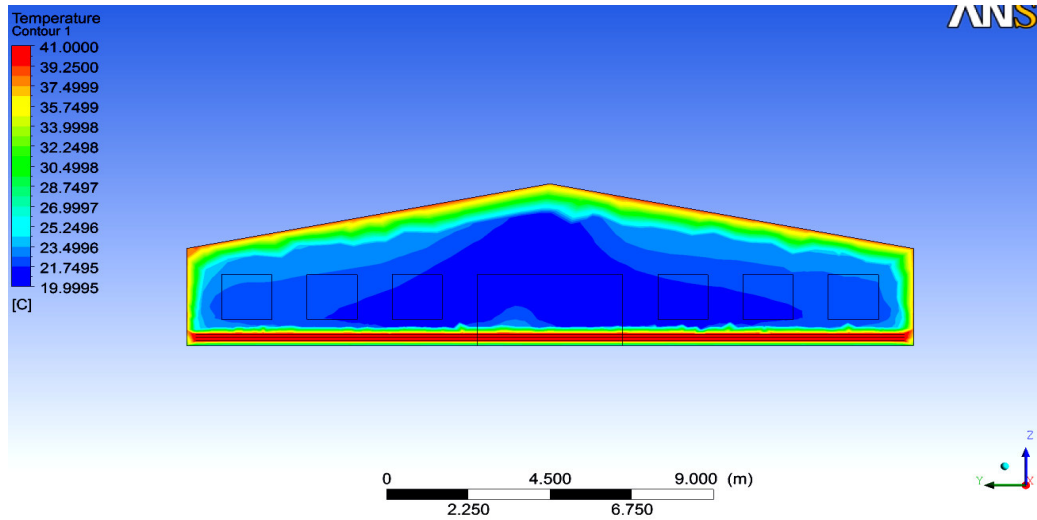


Рис. 3. Температурні поля в приміщенні пташника в поперечному перерізі будівлі по осі Oy на відстані 30 м від входу.

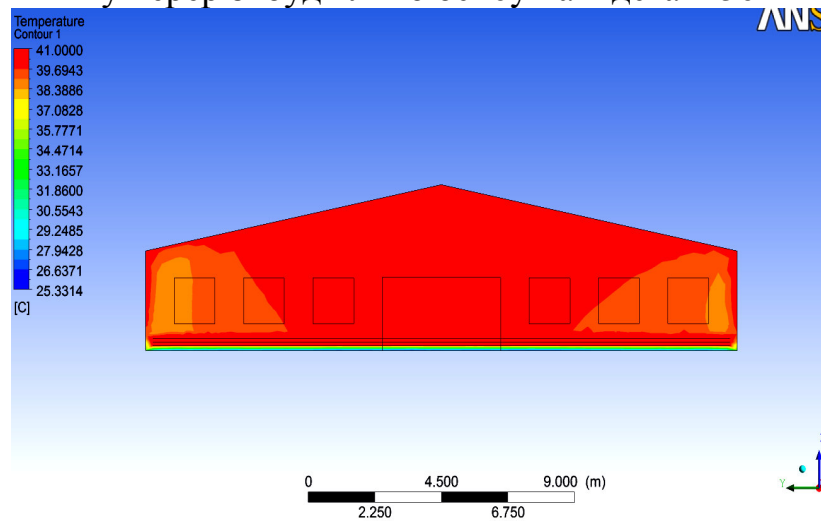


Рис. 4. Температурні поля в приміщенні пташника в поперечному перерізі будівлі по осі Oy на відстані 30 м від входу.

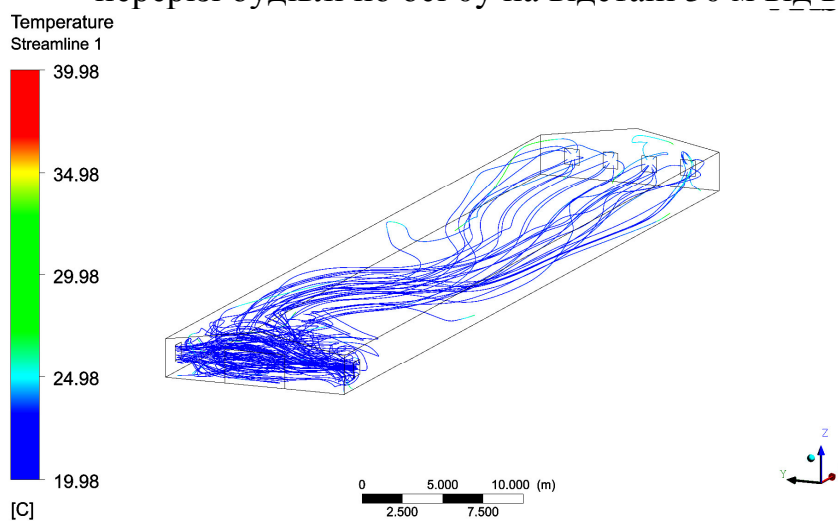


Рис. 5. Лінії току в пташнику.



З метою нормалізації температурних параметрів в пташниках в цей період року запропоновано використовувати теплообмінники-рекуператори, які вмонтовані у притяжні вентиляційні вікна які забезпечують охолодження припливного повітря за рахунок води із свердловини. Таким чином використання даного способу охолодження дозволяє знизити температуру припливного повітря в приміщення пташника до 20°C без підвищення відносної вологості повітря.

Висновки. Проведено чисельне математичне моделювання процесів тепло- і масопереносу вентиляційного повітря в птахівничих приміщеннях з використанням і без використання теплообмінних апаратів як охолоджувачів повітря приточування. Використовуючи програмне забезпечення САПР ANSYS Fluent отримано поля швидкостей, температур і тисків в приміщенні пташника. Обрані оптимальні режими вентиляції в птахівничих приміщеннях. Запропоновано новий спосіб охолодження птахівничих приміщень в літній період року з використанням теплообмінників-рекуператорів, що використовують в якості охолоджувача воду підземних свердловин. Це дає можливість знижувати температуру повітря в пташнику до 20°C не підвищуючи його відносну вологість.

Література.

1. Патент 54184UA, Україна, A01K1/00, F24F7/00, Установка для створення мікроклімату у тваринницькому приміщенні / *М.М.Луценко, В.І.Смоляр*, заявник *М.М.Луценко, В.І.Смоляр* — № 2002064532; заявл. 04.06.2002; опубл. 17.02.2003, Бюл. № 2, 2003 р. – 1 с.: іл.
2. *Горобець В.Г.* Математичне моделювання процесів гідродинаміки і теплообміну в охолоджувачах повітря птахівничих приміщень / *В.Г. Горобець, В.І. Троханяк* // Науковий вісник НУБіП України. – 2013. – № 184 (ч. 2). – с. 101-110.
3. *Шлихтинг Г.* Теорія пограничного слоя / *Г. Шлихтинг* — М.: Наука, 1974. – 148 с.
4. *Bardina J.E., Huang P.G., Coakley T.J.* Turbulence Modeling Validation, Testing and Development / *J.E. Bardina, P.G. Huang, T.J. Coakley* // NASA reports – April 1997. – pp. 18 –21.
5. *Spalart P., Allmaras S.* A one-equation turbulence model for aerodynamic flows: Technical Report AIAA-92-0439 / *P. Spalart, S. Allmaras* – American Institute of Aeronautics and Astronautics, 1992. – pp. 26 – 38.
6. *Spalart, P. R., Allmaras, S. R.* A One-Equation Turbulence Model for Aerodynamic Flows / *P.R. Spalart, S.R. Allmaras* // La Recherche Aerospaciale, No. 1, 1994. – pp. 5-21.
7. Нормы технологического проектирования птицеводческих предприятий. НТП-АПК 1.10.05.001-01(взамен РНТП 4-93). – [Дата введения 2002-01-03]. – Одобрены НТС Минсельхоза России (протокол от 03.08.01 № 23).



КОМПЬЮТЕРНОЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ТЕПЛО- И МАССОПЕРЕНОСА ПРИ ВЕНТИЛЯЦИИ ВОЗДУХА В ПТИЦЕВОДЧЕСКИХ ПОМЕЩЕНИЯХ

В.Г. Горобец, В.И. Троханяк

Аннотация – проведено математическое моделирование процессов тепло- и массопереноса при вентиляции воздуха в птицеводческих помещениях. Для охлаждения приточного воздуха предложены новые конструкции теплообменных аппаратов, в которых в качестве охладителя используется вода подземных скважин. В результате численного моделирования получены поля скоростей, температур и давлений в птичнике используя программный продукт САПР ANSYS Fluent. Даны рекомендации по выбору конструкции систем вентиляции в птичниках.

COMPUTER MATHEMATICAL MODELING OF HEAT AND MASS TRANSFER OF AIR VENTILATION IN POULTRY HOUSES

V. Gorobets, V. Trokhanyak

Summary

Mathematical modeling of heat and mass transfer in the air ventilation in poultry houses. To supply cooling air provides novel constructions of heat exchangers in which water is used as coolant subterranean wells. As a result of numerical simulations obtained velocity field, temperature and pressure in the house using CAD software ANSYS Fluent. Recommendations on the choice of the design of ventilation systems in poultry houses.