

## РОЗРОБКА СИСТЕМИ ОПАЛЕННЯ ТА МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ПРОЦЕСІВ ТЕПЛО- І МАСОПЕРЕНОСУ В ТЕПЛИЦЯХ З ВИКОРИСТАННЯМ АЛЬТЕРНАТИВНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ

*В.Г. Горобець, доктор технічних наук*

*О.В. Яценко, магістр*

*Національний університет біоресурсів і природокористування України*

*Запропонований проект оснащення системи опалення теплиці сонячними колекторами та тепловими насосами. Проведене моделювання процесів тепло- і масопереносу в теплиці. Моделювання виконано з використанням програмного середовища ANSYS Fluent 14.0. В результаті отримано поля швидкостей та температур в теплиці.*

*Теплиці, сонячний колектор, тепловий насос, моделювання, процеси тепло- і масо переносу.*

Проблемою тепличних господарств, зазвичай, є невиправдано великі затрати на традиційні енергоресурси. Для забезпечення в холодний час року необхідного мікроклімату в спорудах захищеного ґрунту потрібна тепла енергія. Великі теплично овочеві комбінати, одинична площа яких досягає 60 га, а теплове навантаження 350 МВт, є найбільш концентрованими й енергоємними споживачами теплоти в сільськогосподарському виробництві. Річне споживання теплоти в зазначених спорудах складає 290 млн ГДж, на що витрачається 12 млн. т умовного палива. Зазначимо, що на виробництво в теплицях 1 кг сільськогосподарської продукції витрачається до 5 кг палива. Тому проблема економії енергоресурсів при теплопостачанні споруд захищеного ґрунту шляхом поліпшення систем їхнього обігріву, використання нетрадиційних джерел енергії — дуже актуальна. Тому для обігріву теплиць

пропонується застосування гібридної системи, що складається з сонячних колекторів та теплових насосів.

**Мета досліджень** – моделювання процесів аеродинаміки та поля температур в теплиці та впровадження альтернативних джерел енергії в систему опалення.

**Матеріали та методика досліджень.** Культивацийні споруди мають ряд відмінних рис, які слід враховувати при розв'язанні задач їхнього теплопостачання:

- великі втрати теплоти внаслідок малих термічних опорів огорожень зі скла або полімерної плівки, а також через значну інфільтрацію зовнішнього повітря (від 10 до 40 % основних тепловтрат);
- різкозмінний характер теплового навантаження протягом доби, сезону, року;
- мала теплова стійкість споруд, обумовлена малою тепловою інерцією огороження;
- підвищені вимоги до параметрів мікроклімату, обумовлені агротехнікою;
- необхідність проведення технологічних заходів, що вимагають додаткових витрат теплоти (термічна обробка ґрунтового шару, розігрів ґрунту, полив та ін.).

Таким чином, правильний вибір джерела і засобів теплопостачання має велике значення, оскільки цим визначається економічна ефективність культивацийних споруд, ступінь рентабельності овочівництва захищеного ґрунту.

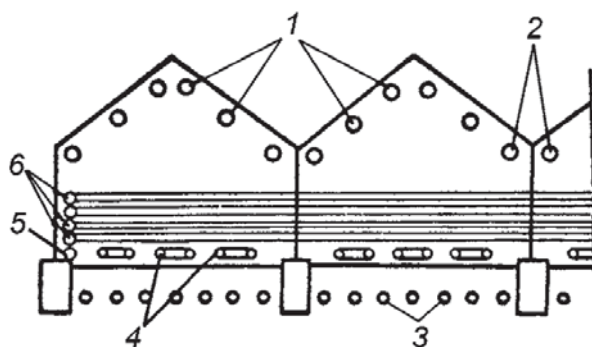
Культивацийні споруди обігріваються за рахунок сонячної радіації, біопалива чи різних технічних засобів.

Потужність систем опалення визначають для умов стаціонарного нічного режиму за різницею розрахункових температур повітря (внутрішньої і зовнішньої, причому остання береться як середня багаторічна температура найхолоднішої доби), а також за середньою швидкістю вітру.

У спорудах захищеного ґрунту використовують водяний, паровий, повітряний, контактний-газовий і комбінований способи опалення.

В даному випадку розглядається система з водяним способом опалення від гібридної системи, яка складається з сонячних колекторів та теплових насосів.

Система водяного обігріву шатра теплиці підрозділяється на покрівельний, підлотковий, цокольний, торцевий, надґрунтовий обігрів (рис. 1).



**Рис. 1.** Схема розміщення опалювальних приладів в теплиці:

1 – покрівельний обігрів; 2 – підлотковий обігрів; 3 – підґрунтовий обігрів; 4 – приґрунтовий обігрів; 5 – цокольний обігрів; 6 – торцевий обігрів

Для розрахунку було взяте тепличне господарство з геометричними розмірами, які вказані в таблиці.

Таблиця

### Основні геометричні параметри теплиці

Назва параметру	Одиниця виміру	Значення
Кількість ланок в теплиці, $n$	шт.	13
Ширина ланки, $l_1$	м	6,4
Довжина ланки, $l_2$	м	75
Висота теплиці, $h_1+h_2$	м	4,5
Висота бічної поверхні теплиці, $h_1$	м	2
Довжина бічної поверхні теплиці, $l_1 \cdot n$	м	83,2
Ширина дахового скату, $b$	м	4
Площа фронтона, $S_{фр}$	м <sup>2</sup>	8
Інвентарна площа, $S_{інв}$	м <sup>2</sup>	6240
Інвентарний об'єм, $V_{об}$	м <sup>3</sup>	20280

Загальна теплова потужність тепличного господарства визначається за формулою:

$$Q_{\text{оп}} = K \cdot F_{\text{п}} \cdot (t_{\text{в}} - t_{\text{з}}) \cdot \eta_{\text{ог}} \cdot \eta_{\text{інф}}, \quad (1)$$

Згідно формули, приведеній вище  $Q_{\text{оп}} = 1,2$  МВт.

Площа ребристих труб для опалення шатра розраховується за формулою:

$$F_{\text{р}} = \frac{Q_{\text{ш}} - 40}{K_{\text{р}} \cdot (t_{\text{р}} - t_{\text{з}})} \cdot F_{\text{гр}} \quad (2)$$

Для системи опалення шатра були прийняті труби з оребренням, для яких площа гладких труб рівна, згідно розрахунку  $660 \text{ м}^2$ .

Вентиляція в теплиці природна. Швидкість повітряного потоку в режимі вентиляції визначається за формулою:

$$Q = 6,25 \cdot A \cdot \sqrt{\Delta t - \Delta h} \quad (3)$$

де  $Q$  – швидкість повітряного потоку в режимі вентиляції,  $\text{м}^3/\text{хв}$ ;

$A$  – площа вентиляційних люків,  $\text{м}^2$ ;

$\Delta t$  – різниця між внутрішньою та зовнішньою температурами,  $^{\circ}\text{C}$ ;

$\Delta h$  – різниця висот розміщення припливних і витяжних люків,  $\text{м}$ .

З попередньої формули визначається площа вентиляційних люків:

$$A = \frac{Q}{6,25 \cdot \sqrt{\Delta t - \Delta h}} \quad (4)$$

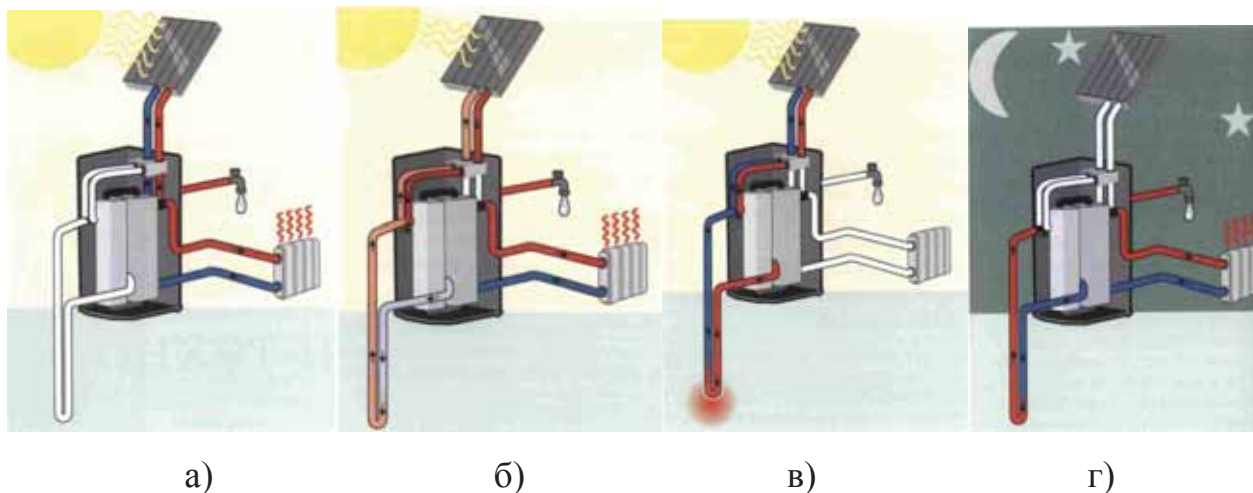
У результаті розрахунку прийнято 286 вентиляційних люків розміром  $1\text{м} \times 2\text{м}$ , загальна площа яких рівна  $572 \text{ м}^2$ .

В якості джерела теплоти застосовується комбінована (тепловий насос плюс сонячний колектор) установка, для більш ефективного використання альтернативних джерел енергії, що в залежності від кількості сонячної енергії в даний період часу може працювати в чотирьох режимах.

Режим 1 (рис. 2 а). При достатній кількості сонячної енергії установка працює лише з використанням сонячних колекторів.

При температурі теплоносія на виході з сонячних колекторів вище  $50^{\circ}\text{C}$  тепловий насос не працює, нагрітий теплоносій через проміжний теплообмінник передає тепло в систему опалення та гарячого водопостачання.

В такому режимі установки тепловий насос не споживає електричну енергію на привід компресора та циркуляційного насоса ґрунтового контуру, тобто електрична енергія споживається лише на привід циркуляційних насосів контура геліоколектора та системи опалення. Даний режим роботи установки характерний для перехідних періодів (осінь-зима та зима-весна), коли кількості сонячної енергії достатньо для покриття всього теплового навантаження.



**Рис. 2.** Режими роботи комбінованої системи з використанням ґрунтового джерела теплоти:

а) – режим 1; б) – режим 2; в) – режим 3; г) – режим 4

Режим 2 (рис. 2 б). Підігрів теплоносія на виході з ґрунтового контуру сонячною енергією.

При температурі теплоносія на виході з сонячних колекторів нижче  $50^{\circ}\text{C}$  відбувається підігрів теплоносія на виході з ґрунтового контуру в проміжному теплообміннику сонячною енергією. Далі підігрітий теплоносій потрапляє на випарник теплового насоса і процес повторюється знову. В такому режимі установки тепловий насос працює значно ефективніше, оскільки підвищується температура теплоносія на вході у випарник, а як наслідок і коефіцієнт перетворення (COP). Даний режим роботи установки характерний для сонячних днів взимку.

Режим 3 (рис. 2 в). Акумуляування сонячної енергії в ґрунті.

При температурі теплоносія на виході з сонячних колекторів більше  $100^{\circ}\text{C}$  та відсутності споживання тепла вашим будинком відбувається підігрів

теплоносія на виході з ґрунтового контуру в проміжному теплообміннику сонячною енергією.

Далі підігрійтий теплоносієм потрапляє в ґрунтовий теплообмінник, де і відбувається акумулювання сонячної енергії. Даний режим установки забезпечує акумулювання надлишку сонячної енергії в ґрунті та підвищує ефективність установки в цілому.

Такий режим установки характерний для теплої пори року (пізня весна, літо, рання осінь), адже кількість сонячної енергії в даний період в рази перевищує сонячну енергію взимку.

Режим 4 (рис. 2 г). Робота установки з використанням ґрунтового джерела тепла.

За відсутності сонця, комбінована теплонасосно-сонячна установка працює як звичайний тепловий насос типу ґрунт-вода.

Теплоносієм, проходячи крізь ґрунтовий масив, забирає тепло з ґрунту та направляється у І випарник теплового насоса. Ефективність роботи комбінованої установки значно вища, ніж в аналогічних теплових насосів, адже вона використовує теплоносієм вищої температури за рахунок акумулювання сонячної енергії. Даний режим установки характерний для холодної пори року, оскільки кількість сонячної енергії в даний період мінімальна.

Тепличне господарство загальною площею 6240 м<sup>2</sup> (13 ланок по 480 м<sup>2</sup>) потребує 1,2 МВт теплової потужності. Для забезпечення цієї потужності необхідно 13 сонячних колекторів (Vitosol 300-T) на кожному ланку та тепловий насос компанії KWT потужністю 850 кВт. У випадку, коли комбінована установка не може забезпечити необхідний температурний режим, у роботу буде включатись електророкотел. Дана схема забезпечить надійність роботи системи опалення та економію енергоресурсів.

Для того щоб показати процеси тепло- і масопереносу в теплиці, необхідно провести комп'ютерне моделювання. Моделювання буде проведено за допомогою програми Ansys Fluent 14.0.

Аеродинамічні процеси, які проходять в теплиці, описуються за допомогою рівнянь Нав'є-Стокса, які у розгорнутому виді представлені наступним чином:

$$\rho \cdot \left[ \frac{dW_X}{dt} + \frac{dW_X}{dx} + \frac{dW_X}{dy} + \frac{dW_X}{dz} \right] = \rho g x - \frac{dp}{dx} + \mu \cdot \left( \frac{d^2 W_X}{dx^2} + \frac{d^2 W_X}{dy^2} + \frac{d^2 W_X}{dz^2} \right); \quad (5)$$

$$\rho \cdot \left[ \frac{dW_Y}{dt} + \frac{dW_Y}{dx} + \frac{dW_Y}{dy} + \frac{dW_Y}{dz} \right] = \rho g y - \frac{dp}{dy} + \mu \cdot \left( \frac{d^2 W_Y}{dx^2} + \frac{d^2 W_Y}{dy^2} + \frac{d^2 W_Y}{dz^2} \right); \quad (6)$$

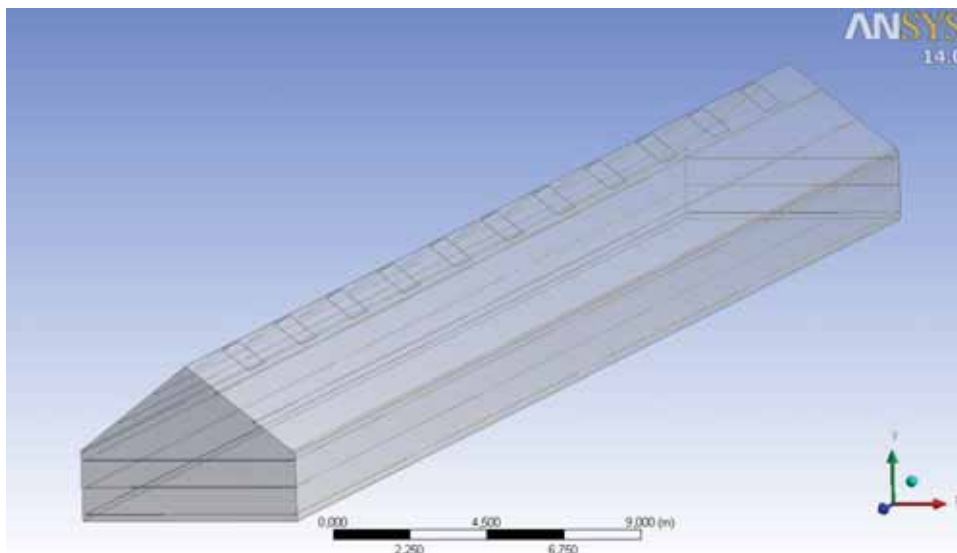
$$\rho \cdot \left[ \frac{dW_Z}{dt} + \frac{dW_Z}{dx} + \frac{dW_Z}{dy} + \frac{dW_Z}{dz} \right] = \rho g z - \frac{dp}{dz} + \mu \cdot \left( \frac{d^2 W_Z}{dx^2} + \frac{d^2 W_Z}{dy^2} + \frac{d^2 W_Z}{dz^2} \right), \quad (7)$$

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;  $\rho$  – густина середовища;  $g$  – прискорення вільного падіння;  $\mu$  – динамічна в'язкість середовища;  $p$  – тиск;  $W_X, W_Y, W_Z$  – векторне поле швидкостей;  $t$  – час.

Рівняння нерозривності:

$$\frac{d\rho}{dt} + \frac{d(\rho W_X)}{dx} + \frac{d(\rho W_Y)}{dy} + \frac{d(\rho W_Z)}{dz} = 0. \quad (8)$$

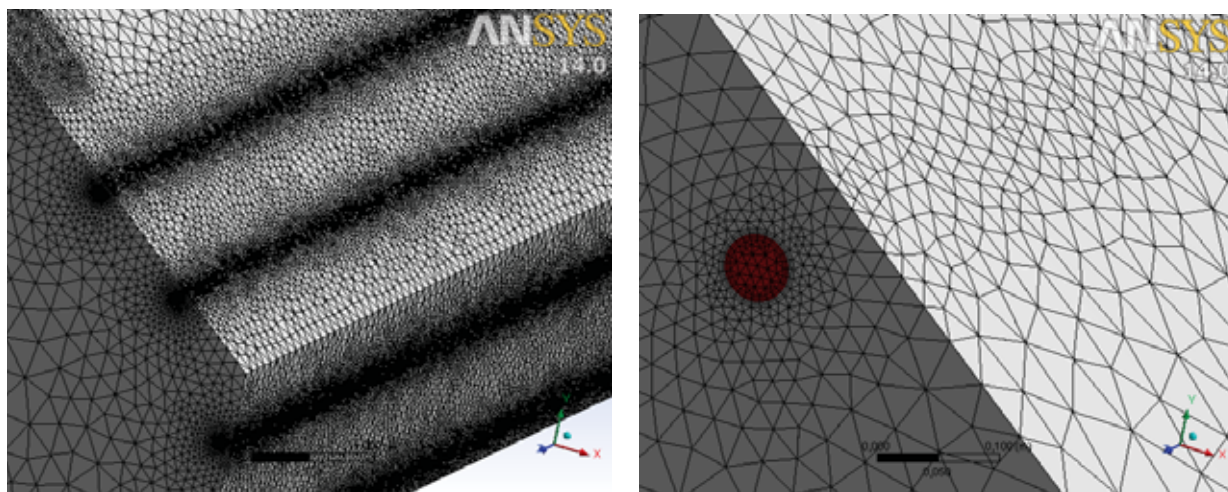
Для моделювання необхідно побудувати геометрію однієї ланки тепличного господарства. Для цього потрібно в середовищі Ansys Workbench 14.0 вибрати блок Fluid Flow (Fluent), в якому обрати Geometry. Внаслідок відкриття вікна DesignModeler, в якому і будується геометрія однієї ланки теплиці в реальних розмірах з вентиляційними люками та з трубами системи опалення (рис. 3).



**Рис. 3.** Геометрія однієї ланки тепличного господарства

Щоб створити сітку для побудованої геометрії, потрібно в блоці Fluid Flow (Fluent) обрати Mesh. Внаслідок відкриється вікно для створення сітки Meshing [ANSYS ICEM CFD].

В Meshing [ANSYS ICEM CFD] створюємо сітку, вказуючи мінімальні та максимальні розміри сітки для окремих елементів геометрії (рис. 4). Наприклад, для вентиляційних люків сітка є густішою, ніж для стінок огорожень. Це робиться з метою покращення відображення процесів, які проходять в теплиці.



**Рис. 4.** Сітка для побудованої геометрії



Після побудови геометрії та сітки, вказуємо властивості всіх матеріалів; температури: зовнішню, внутрішню, огорожень, ґрунту, системи опалення; вказуємо необхідний повітрообмін; початкові умови та граничні умови.

**Результати досліджень.** Запропоновано систему опалення теплиць з використанням комбінованої системи теплопостачання (тепловий насос плюс геліоколектор), що забезпечить не тільки екологічність, а й значну економію енергоресурсів.

Після проведення комп'ютерного моделювання отримано поле швидкостей (рис. 5 – 8) та поле температур (рис. 7 – 10) всередині приміщення.

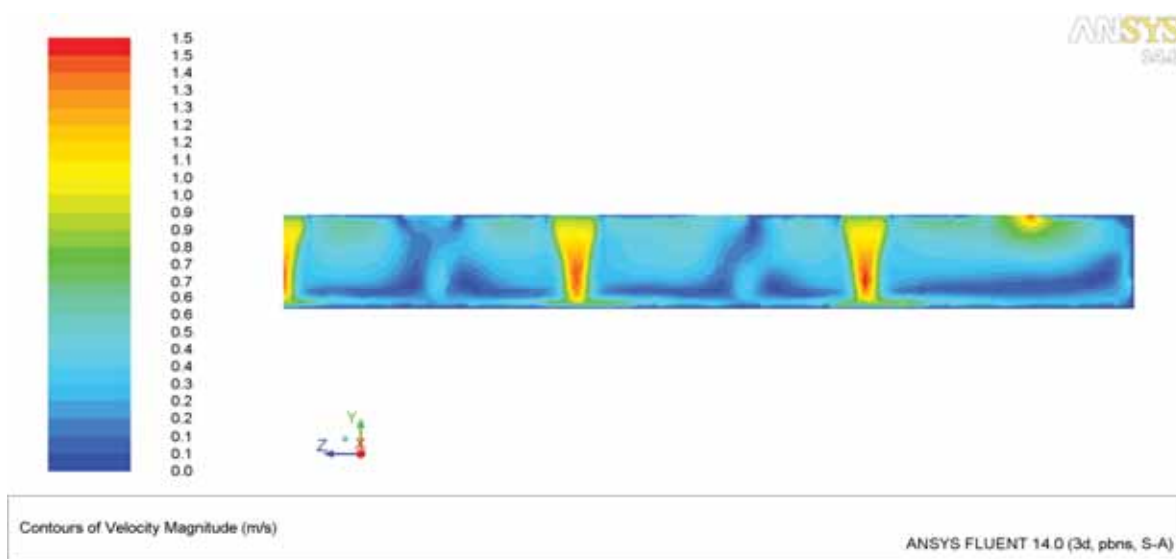


Рис. 5. Поле швидкостей в повздовжньому перерізі по центру

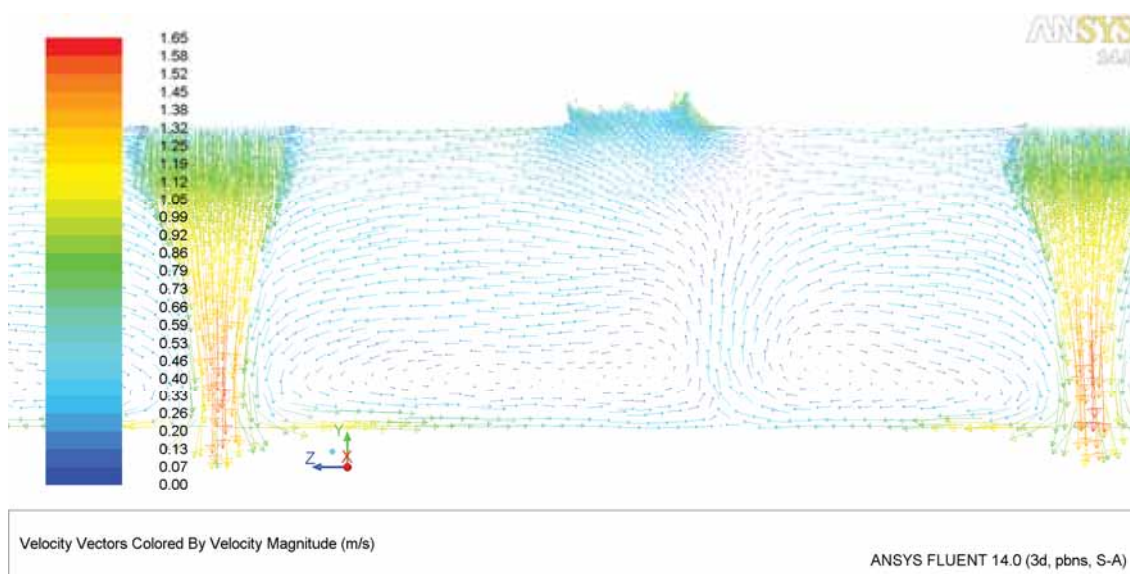


Рис. 6. Векторне поле швидкостей в повздовжньому перерізі по центру

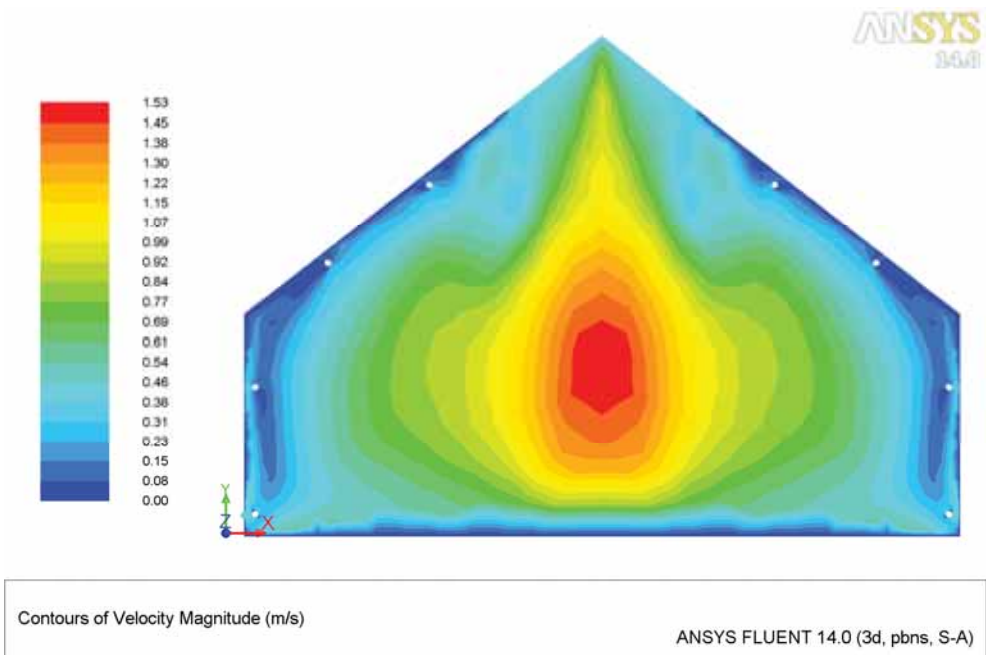


Рис. 7. Поле швидкостей в поперечному перерізі (припливний люк)

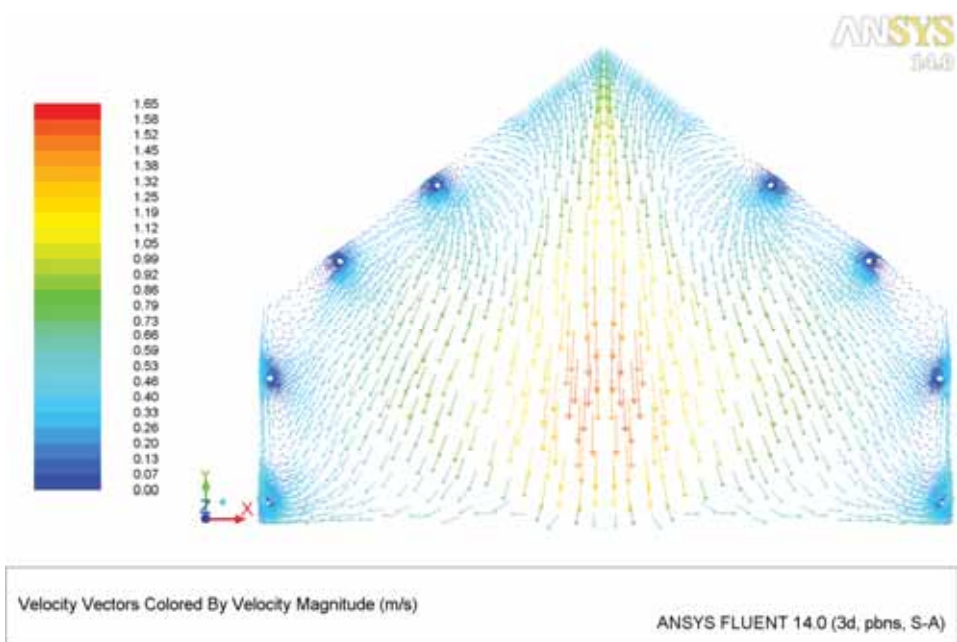


Рис. 8. Вектор поля швидкостей в поперечному перерізі (припливний люк)

З рис. 5 – 8 можна зробити висновки, що швидкість повітря в теплиці носить нерівномірний характер. Максимальна швидкість повітря досягається в середині теплиці під припливними люками і сягає 1,65 м/с. Біля стін підлоги та опалювальних труб створюються застійні зони швидкості руху повітря біля

яких становить 0,2 м/с. Середня швидкість руху повітря в середині теплиці лежить в межах 0,5 – 0,7 м/с.

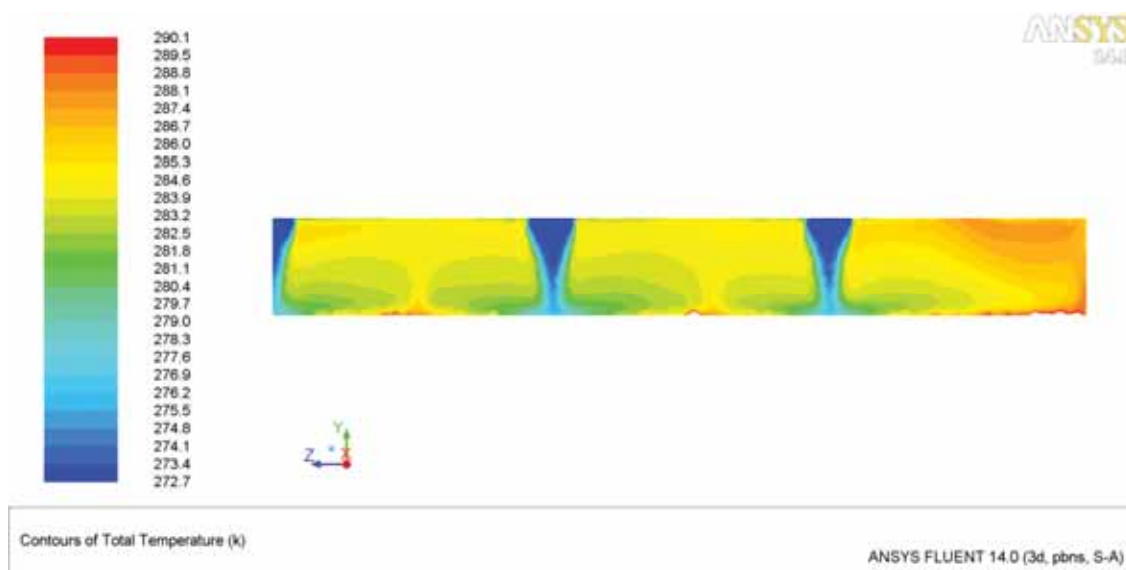


Рис. 9. Розподіл температур в повздовжньому перерізі по центру

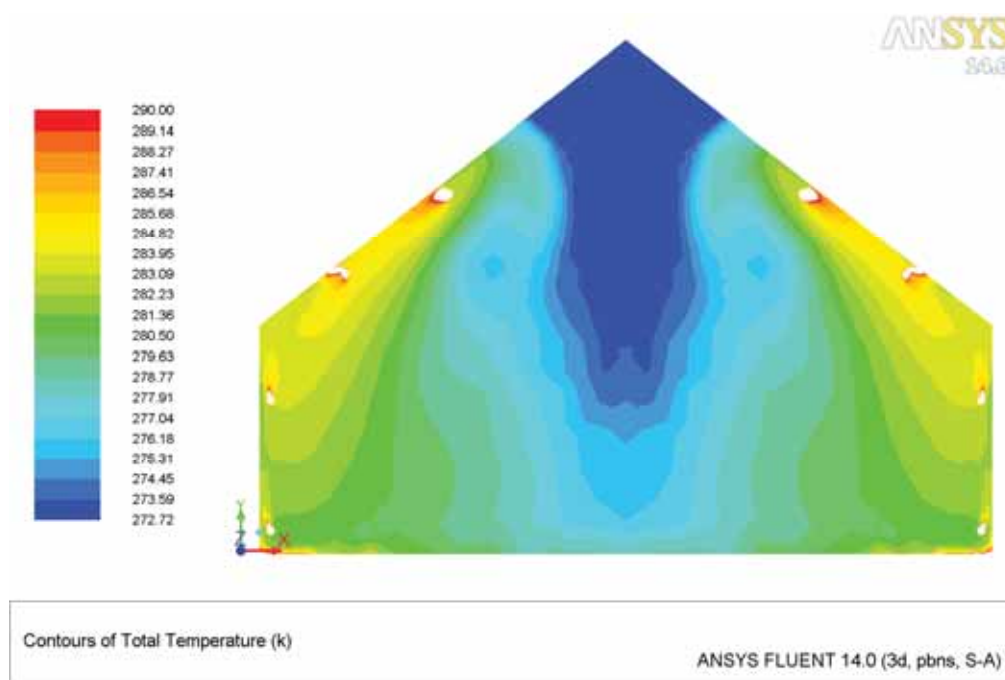


Рис. 10. Розподіл температур в поперечному перерізі (припливний люк)

З рис. 9 – 10 видно, середня температура в теплиці складає 13 °С, що відповідає нормованому значенню температури 12 – 15 °С. При максимально відкритих вентиляційних люках температура під ними мінімальна і становить 5 – 6 °С.

## Висновки

Запропонована екологічно безпечна та енергоефективна система опалення теплиці з використанням комбінованої установки з альтернативними джерелами енергії.

Розроблено комп'ютерну модель в середовищі ANSYS Fluent 14.0 для проведення моделювання процесів тепло- та масопереносу в теплиці. В результаті моделювання буде отримано динаміку розподілу поля швидкостей та поля температур теплиці. Це дасть можливість визначити значення максимальних та мінімальних швидкостей руху повітря та його температури.

## Список літератури

1. Fluent 6.1. Обучающая программа. – Fluent incorporated.
2. Журнал "Нова тема" № 4/2009, стаття «Гібридна теплонасосно-сонячна система від ТОВ "Сталі енергетичні технології" / Є. Я. Никифорович, Ю. М. Литвинюк.
3. Теплотехніка: підручник. / Б.Х. Драганов, О.С. Бессараб, А.А. Долінський, В.О. Лазоренко, А.В. Міщенко, О.В. Шеліманова / 2 – ге вид., перероб і доп. – Київ «Фірма Інкос», 2005р. – 400 с.
4. CADFEM. Системы автоматизации инженерных расчетов. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.cadfem-cis.ru>.

*Предложенный проект оснащения системы отопления теплицы солнечными коллекторами и тепловыми насосами. Проведенное моделирование процессов тепло- и массопереноса в теплице. Моделирование выполнено с использованием программной среды ANSYS Fluent 14.0. В результате получено поля скоростей и температур в теплице.*

***Теплицы, солнечный коллектор, тепловой насос, моделирование, процессы тепло- и массопереноса.***

*The proposed project equipment heating greenhouses solar collectors and heat pumps. Simulations of heat and mass transfer in the greenhouse. Simulations performed using the software environment ANSYS Fluent 14.0. The result obtained velocity field and temperature in the greenhouse.*

***Greenhouses, solar collector, heat pump, modeling, processes of heat and mass transfer***