

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ВИТРАТ ПРИРОДНОГО ГАЗУ НА ОПАЛЕННЯ ТЕПЛИЦЬ ТА ЙОГО РЕЗУЛЬТАТИ

Наведено результати математичного моделювання залежності витрат природного газу на опалення теплиць від параметрів зовнішнього середовища з метою забезпечення заданої внутрішньої температури в теплиці. Розроблено математичну модель у вигляді рівняння регресії, перевірено її адекватність, визначено оптимальний режим мікроклімату для забезпечення максимальної продуктивності фотосинтезу. Створено та апробовано на виробництві спеціалізоване програмне забезпечення системи автоматичного контролю технологічних параметрів. Обґрунтовано шляхи підвищення ефективності функціонування систем управління біотехнічними об'єктами з можливістю врахування впливу природних збурюючих факторів: температури зовнішнього середовища, сонячної радіації.

Ключові слова: математична модель, експеримент, рівняння регресії, мікроклімат теплиці.

Вступ. Відомо, що підтримання оптимальної температури в теплиці, особливо в зимовий період, є найбільш енергозатратним фактором під час виробництва овочів. Крім того, температурний режим значно впливає на фотосинтез у рослинах і пов'язаний з інтенсивністю сонячної радіації, яка залежить від тривалості світлового дня та зовнішніх погодних умов. Частина сонячної радіації є фотосинтетично активною (ФАР), тобто бере участь у процесі фотосинтезу, а решта, перетворившись в тепло, збільшує температуру в теплиці, при цьому збурюючи впливає на мікроклімат біотехнічного об'єкта [1, 4]. Таким чином, важливим завданням є синтез математичної моделі витрат природного газу на опалення в теплиці з урахуванням збурюючого впливу зовнішніх погодних умов.

Мета статті. Синтез математичної моделі витрат природного газу в теплиці, яка дозволить дослідити вплив зовнішніх природних факторів (температури та інтенсивності сонячної радіації) на енергетичні витрати та визначити можливі шляхи підвищення енергоефективності при виробництві овочів у спорудах закритого ґрунту.

Основна частина. Інформація щодо значень параметрів мікроклімату та збурюючих впливів отримана з використанням інформаційно-вимірювальної системи (ІВС), в якій застосовуються датчики температури, вологості та інтенсивності сонячної радіації, змонтована на території цеху №9 ПАТ «Комбінат «Тепличний» Броварського району Київської області [2].

На рис. 1 наведено вигляд інформаційного вікна, у якому відображені поточні значення зазначених параметрів. Також розроблено інформаційне забезпечення ІВС та бази даних з використанням MS SQL Server Express.

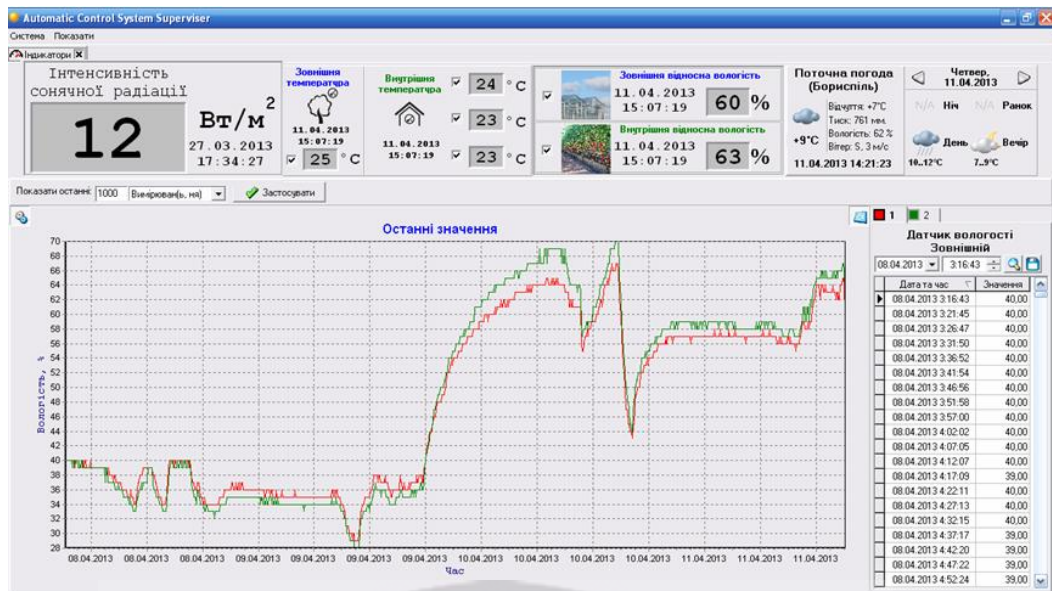


Рис. 1. Вигляд вікна з результатами моніторингу параметрів зовнішнього середовища та мікроклімату в теплиці

Моніторинг параметрів та їх збереження в базі даних дозволили накопичити статистичну інформацію [3], на основі якої і проводився синтез математичної моделі, тобто статичної характеристики об'єкта (рис. 2, 3), яка описується поліноміальним рівнянням другого порядку (1).

$$P(T, T1, R) = -6,213 \cdot 10^{-3} + 1,86 \cdot T + 5,92 \cdot T1 + 0,038 \cdot R + 0,314 \cdot T \cdot T1 - 3,257 \cdot 10^{-3} \cdot T \cdot R + 7,41 \cdot 10^{-4} \cdot T1 \cdot R - 0,056 \cdot T^2 - 0,023 \cdot T1^2 + 1,39 \cdot 10^{-5} \cdot R^2 \quad (1)$$

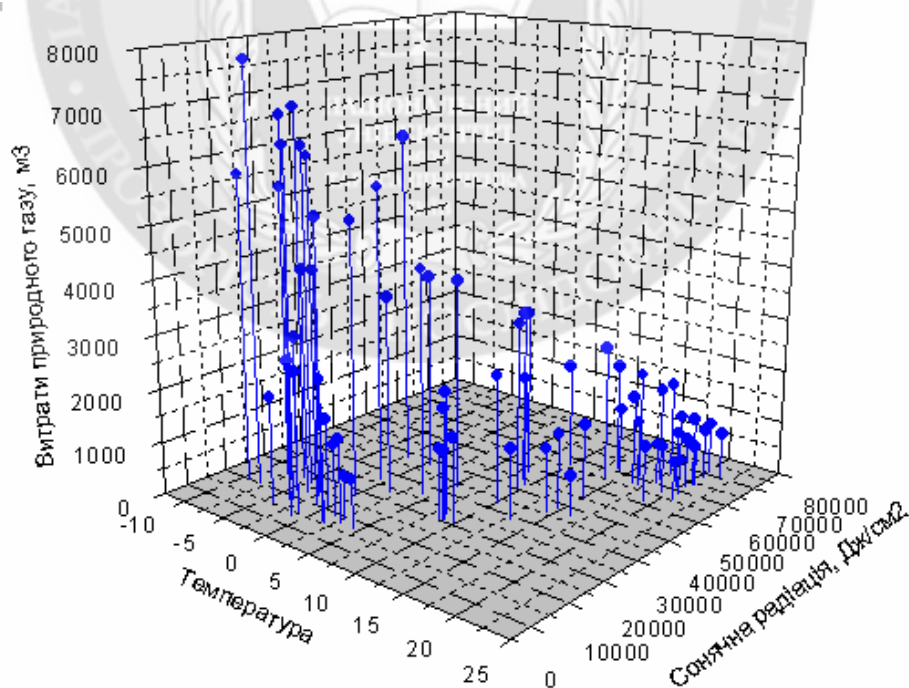


Рис. 2. Статична характеристика об'єкту керування

Коефіцієнти рівняння визначались за методом найменших квадратів.

$$A := \begin{bmatrix} 19 & \sum T_1 & \sum T & \sum R & \sum_{i} T_1 \cdot T_i & \sum_{i} T_1 \cdot R_i & \sum_{i} T_i \cdot R_i & \sum T_1^2 & \sum T^2 & \sum R^2 \\ \sum T_1 & \sum T_1^2 & \sum_{i} T_1 \cdot T_i & \sum_{i} T_1 \cdot R_i & \sum_{i} (T_1)^2 \cdot T_i & \sum_{i} (T_1)^2 \cdot R_i & \sum_{i} T_1 \cdot T_i \cdot R_i & \sum T_1^3 & \sum_{i} (T_i)^2 \cdot T_1 & \sum_{i} (R_i)^2 \cdot T_1 \\ \sum T & \sum_{i} T_1 \cdot T_i & \sum T^2 & \sum_{i} T_i \cdot R_i & \sum_{i} T_1 \cdot (T_i)^2 & \sum_{i} T_1 \cdot T_i \cdot R_i & \sum_{i} (T_i)^2 \cdot R_i & \sum_{i} (T_1)^2 \cdot T_i & \sum T^3 & \sum_{i} (R_i)^2 \cdot T_i \\ \sum R & \sum_{i} T_1 \cdot R_i & \sum_{i} T_i \cdot R_i & \sum R^2 & \sum_{i} T_1 \cdot T_i \cdot R_i & \sum_{i} T_1 \cdot (R_i)^2 & \sum_{i} T_i \cdot (R_i)^2 & \sum_{i} (T_1)^2 \cdot R_i & \sum_{i} (T_i)^2 \cdot R_i & \sum R^3 \\ \sum_{i} T_1 \cdot T_i & \sum_{i} (T_1)^2 \cdot T_i & \sum_{i} T_1 \cdot (T_i)^2 & \sum_{i} T_1 \cdot T_i \cdot R_i & \sum_{i} (T_1)^2 \cdot (T_i)^2 & \sum_{i} (T_1)^2 \cdot T_i \cdot R_i & \sum_{i} T_1 \cdot (T_i)^2 \cdot R_i & \sum_{i} (T_1)^3 \cdot T_i & \sum_{i} (T_i)^3 \cdot T_1 & \sum_{i} (R_i)^2 \cdot T_1 \cdot T_i \\ \sum_{i} T_1 \cdot R_i & \sum_{i} (T_1)^2 \cdot R_i & \sum_{i} T_1 \cdot T_i \cdot R_i & \sum_{i} T_1 \cdot (R_i)^2 & \sum_{i} (T_1)^2 \cdot T_i \cdot R_i & \sum_{i} (T_1)^2 \cdot (R_i)^2 & \sum_{i} T_1 \cdot T_i \cdot (R_i)^2 & \sum_{i} (T_1)^3 \cdot R_i & \sum_{i} T_1 \cdot (T_i)^2 \cdot R_i & \sum_{i} (R_i)^3 \cdot T_1 \\ \sum_{i} T_i \cdot R_i & \sum_{i} T_1 \cdot T_i \cdot R_i & \sum_{i} (T_i)^2 \cdot R_i & \sum_{i} T_i \cdot (R_i)^2 & \sum_{i} T_1 \cdot (T_i)^2 \cdot R_i & \sum_{i} T_1 \cdot T_i \cdot (R_i)^2 & \sum_{i} (T_i)^2 \cdot (R_i)^2 & \sum_{i} (T_1)^2 \cdot T_i \cdot R_i & \sum_{i} (T_i)^3 \cdot R_i & \sum_{i} (R_i)^3 \cdot T_i \\ \sum T_1^2 & \sum T_1^3 & \sum_{i} (T_1)^2 \cdot T_i & \sum_{i} (T_1)^2 \cdot R_i & \sum_{i} (T_1)^3 \cdot T_i & \sum_{i} (T_1)^3 \cdot R_i & \sum_{i} (T_1)^2 \cdot T_i \cdot R_i & \sum T_1^4 & \sum_{i} (T_1)^2 \cdot (T_i)^2 & \sum_{i} (T_1)^2 \cdot (R_i)^2 \\ \sum T^2 & \sum_{i} T_1 \cdot (T_i)^2 & \sum T^3 & \sum_{i} (T_i)^2 \cdot R_i & \sum_{i} (T_i)^3 \cdot T_1 & \sum_{i} T_1 \cdot (T_i)^2 \cdot R_i & \sum_{i} (T_i)^3 \cdot R_i & \sum_{i} (T_1)^2 \cdot (T_i)^2 & \sum T^4 & \sum_{i} (T_i)^2 \cdot (R_i)^2 \\ \sum R^2 & \sum_{i} (R_i)^2 \cdot T_1 & \sum_{i} (R_i)^2 \cdot T_i & \sum R^3 & \sum_{i} (R_i)^2 \cdot T_1 \cdot T_i & \sum_{i} (R_i)^3 \cdot T_1 & \sum_{i} (R_i)^3 \cdot T_i & \sum_{i} (T_1)^2 \cdot (R_i)^2 & \sum_{i} (T_i)^2 \cdot (R_i)^2 & \sum R^4 \end{bmatrix}$$

Середньоквадратична похибка становить 0,0213, що дозволяє використати отримане рівняння для подальших досліджень.

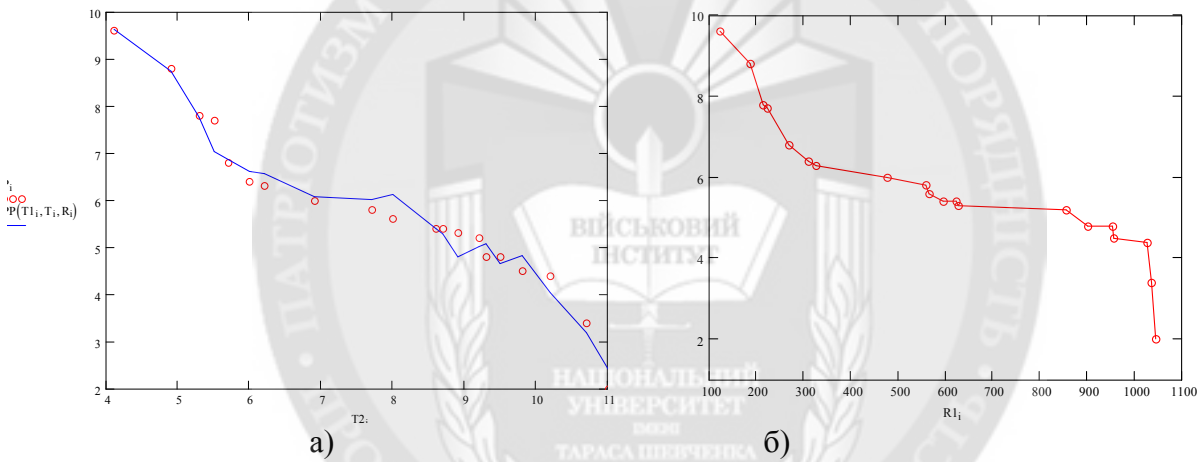


Рис. 3. Залежність (експериментальна та розрахована) витрат природного газу від зовнішньої температури повітря (а) та від інтенсивності сонячної радіації (б)

Крім того важливо порівняти ефективність використання систем керування, що працюють за різними алгоритмами.

У табл. 1 показані результати розрахунку витрат природного газу для систем керування різного типу: 1 – що функціонує в теплиці за алгоритмом стабілізації параметрів мікроклімату; 2 – в якій використовується прогнозування зовнішніх збурень; 3 – в якій використовується як нейромережеве прогнозування зовнішніх природних збурень, так і оптимізація параметрів мікроклімату з метою максимізації приросту овочевої продукції.

Таблиця 1

Результати моделювання з використанням різних алгоритмів роботи системи керування

| № п/п | Зовнішні збурення | | Змінні керування | Ефективність системи керування | | |
|-------|----------------------------------|--|-----------------------------------|---|---|---|
| | Зовнішня температура повітря, °С | Інтенсивність сонячної радіації, Вт/м ² | Температура повітря в теплиці, °С | Витрати природного газу (1), м ³ | Витрати природного газу (2), м ³ | Витрати природного газу (3), м ³ |
| 1 | 3 | 500 | 18 | 6,26 | 5,6027 | 5,22084 |
| 2 | 6 | 400 | 19 | 7,104 | 6,32256 | 5,97446 |
| 3 | 7 | 600 | 20 | 4,926 | 4,37921 | 4,22158 |
| 4 | 5 | 700 | 21 | 1,454 | 3,21574 | 2,9681 |
| 5 | 4 | 350 | 22 | 6,464 | 5,80467 | 5,33926 |

На рис. 4 чітко видно зменшення витрат природного газу при використанні нейромережевого прогнозування зовнішньої температури повітря та інтенсивності сонячної радіації за рахунок урахування цих параметрів при розрахунку кількості теплової енергії, що надходить в теплицю ззовні.

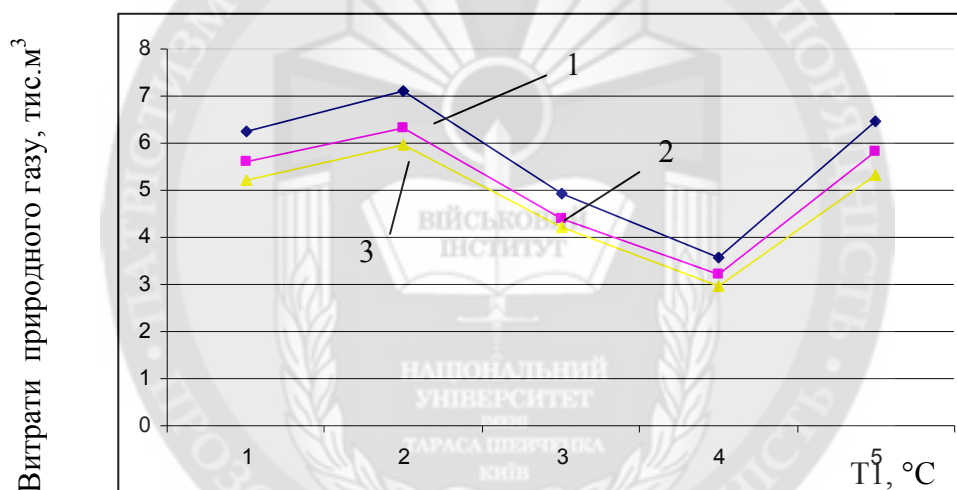


Рис. 4. Залежність витрат природного газу від зовнішньої температури повітря

При використанні алгоритму оптимізації приросту рослин кількість природного газу також зменшується, що пояснюється застосуванням отриманого в результаті активного експерименту рівняння залежності приросту від параметрів мікроклімату [5].

Висновки. Отримано математичну модель витрат природного газу в теплиці, що враховує параметри зовнішнього природного середовища для підтримання заданої температури повітря. Здійснено імітаційне порівняння енергоефективності при використанні систем керування трьох типів, показано доцільність використання системи керування з нейромережевим прогнозуванням збурень та блоком оптимізації приросту рослинної маси.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Лисенко В.П. Оптимальне управління: стан та перспективи розвитку в тепличній галузі / В.П. Лисенко, А.О. Дудник // Науковий вісник НУБіП України. – К.:НУБіП. – 2011. – № 166/3. – С.104 - 112.
2. Лисенко В.П. Нейромережеве прогнозування часових рядів температури навколишнього природного середовища / В.П.Лисенко, Н.А. Заєць, В.М. Штепа, А.О. Дудник // Біоресурси і природокористування. – К.:НААН. – 2011. – №3-4. – С.102-108.

3. Лисенко В.П. Методи і засоби створення структури бази даних для підсистеми моніторингу автоматизованих систем керування технологічними процесами / В.П. Лисенко, Б.Л. Голуб, А.О. Дудник.http://archive.nbuv.gov.ua/e-journals/eia/2012_3/12lv.pdf.

4. Model-based predictive control of greenhouse climate for reducing energy and water consumption / X. Blasco [et al] // Computers and Electronics in Agriculture. – January 2007. – Volume 55, Issue 1. – p. 49–70.

5. Гунченко Ю.О. Архітектура систем управління біотехнічними об'єктами / Ю.О. Гунченко, В.П. Лисенко, С.А. Шворов, В.М. Штепа // Сучасна спеціальна техніка. – К.: МВС ДНДІ. – 2012. – №2 (29). – С. 33-40.

Рецензент: д.т.н., проф. Сбітнєв А.І., провідний науковий співробітник науково-дослідного центру Військового інституту Київського національного університету імені Тараса Шевченка

к.т.н., проф. Лысенко В.Ф., д.т.н., проф. Шворов С.А., к.т.н. Штепа В.Н., Дудник А.А.
**МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РАСХОДОВ ПРИРОДНОГО ГАЗА НА
ОТОПЛЕНИЕ ТЕПЛИЦ И ЕГО РЕЗУЛЬТАТЫ**

Приведены результаты математического моделирования зависимости расхода природного газа на отопление теплиц от параметров внешнего среды с целью обеспечения заданной внутренней температуры в теплице. Разработана математическая модель в виде уравнения регрессии, проверено ее адекватность, определен оптимальный режим микроклимата для обеспечения максимальной продуктивности фотосинтеза. Создан и апробирован на производстве специализированное программное обеспечение системы автоматического контроля технологических параметров. Обоснованы пути повышения эффективности функционирования систем управления биотехническими объектами с возможностью учета влияния природных возмущающих факторов: температуры внешней среды, солнечной радиации.

Ключевые слова: математическая модель, эксперимент, уравнение регрессии, микроклимат теплицы

Lysenko V., Shvorov S., Shtepa V., Dudnik A.
**MATHEMATICAL MODELING OF NATURAL GAS CONSUMPTION FOR HEATING
GREENHOUSES AND IT'S RESULTS**

The results of mathematical modeling for natural gas consumption for heating greenhouses depending on environment parameters to ensure the desired internal temperature in the greenhouse are shown. The mathematical model in the form of regression equations tested its adequacy and optimal mode-conditioning for maximum productivity of photosynthesis. Was created and tested in manufacturing specialized software systems for automatic control of process parameters. The ways to enhance the functioning of control systems biotechnical objects with the ability to take into account the impact of natural perturbing factors: ambient temperature, solar radiation.

Keywords: mathematical model, experiment, regression equation, greenhouse microclimate