

*The effect of frequency on the angular speed, technological and energy characteristics of bucket conveyors are carried out. The dependencies of performance, torque static resistance bucket conveyor and specific energy consumption from the current frequency are established.*

***Electric drive, angular speed, frequency, bucket conveyor, performance, static moment resistance, the specific energy consumption.***

УДК 631.589

## **СИНТЕЗ ТА ДОСЛІДЖЕННЯ МАТЕМАТИЧНИХ МОДЕЛЕЙ ВИТРАТ ЕНЕРГОРЕСУРСІВ НА ОПАЛЕННЯ ТЕПЛИЦЬ У ЗИМОВИЙ ПЕРІОД**

***А.О. Дудник, кандидат технічних наук***

*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, визначено оптимальний режим мікроклімату для забезпечення максимальної продуктивності фотосинтезу.*

***Математична модель, експеримент, рівняння регресії, мікроклімат теплиці.***

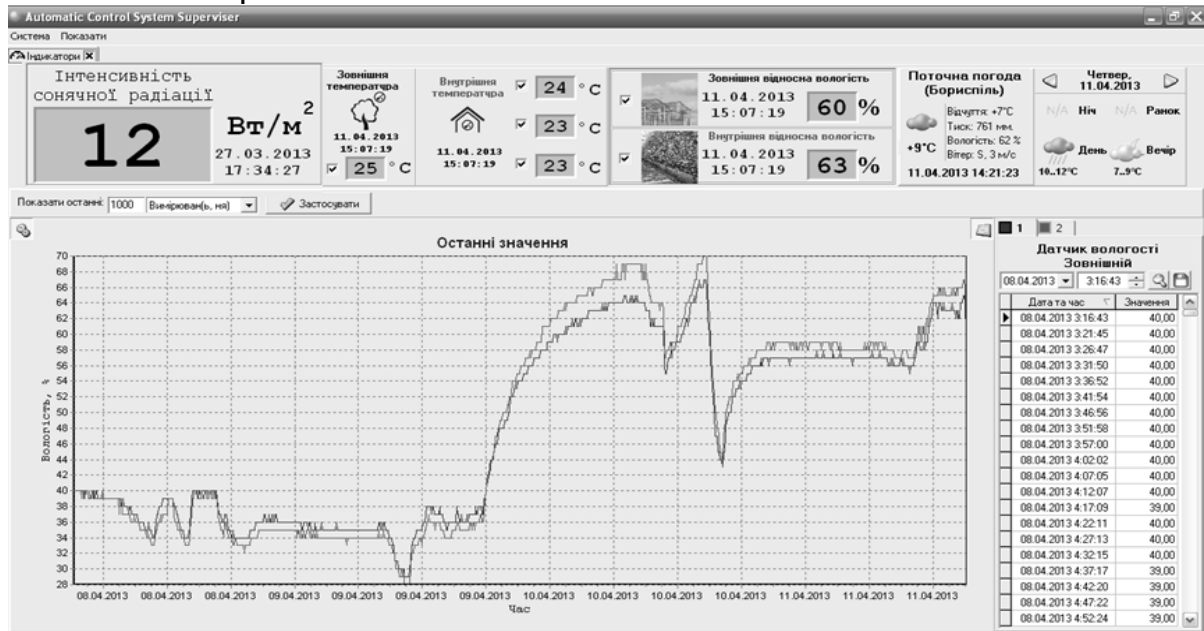
Відомо, що підтримання оптимальної температури в теплиці, особливо в зимовий період, є найбільш енергозатратним фактором під час виробництва овочів. Крім того, температурний режим значно впливає на фотосинтез у рослинах і пов'язаний з інтенсивністю сонячної радіації, яка залежить від тривалості світлового 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 [2, 3, 4]. Таким чином, важливим завданням є синтез математичної моделі витрат природного газу на опалення в теплиці з урахуванням збурюючого впливу зовнішніх погодних умов.

**Мета досліджень** – синтез математичної моделі витрат природного газу у 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.

**Матеріали та методика досліджень.** Інформація щодо значень параметрів мікроклімату та збурюючих впливів отримана із застосуванням інформаційно-вимірювальної системи моніторингу, яка розроблена з використанням датчиків температури, вологості та інтенсивності сонячної

радіації, та змонтована на території цеху №9 ПАТ «Комбінат «Тепличний» Броварського району Київської області [1].

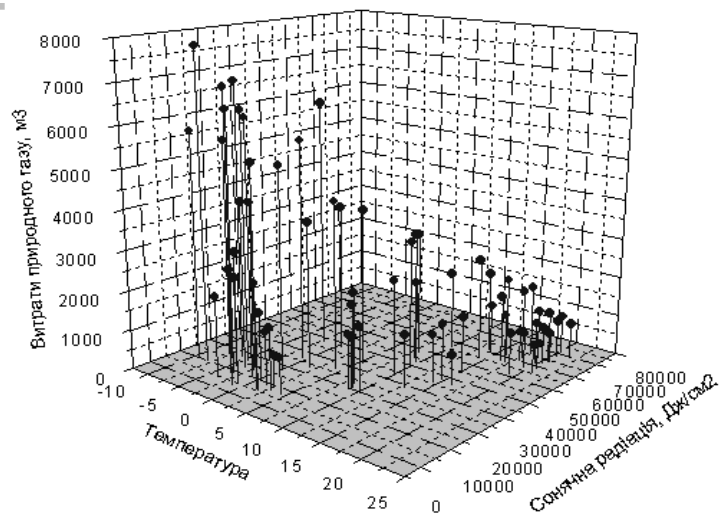
На рис. 1 наведено вигляд інформаційного вікна, в якому відображено поточні значення зазначених параметрів. Також розроблено інформаційне забезпечення у вигляді бази даних з використанням MS SQL Server Express.



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

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

$$P(T, T1R) = -6,213 \cdot 10^{-3} + 1,86T + 5,98T1 + 0,038R + 0,314TT1 - 3,257 \cdot 10^{-3}TR + (1) + 7,41 \cdot 10^{-4}T1R - 0,056T^2 - 0,023T1^2 + 1,39R^2.$$



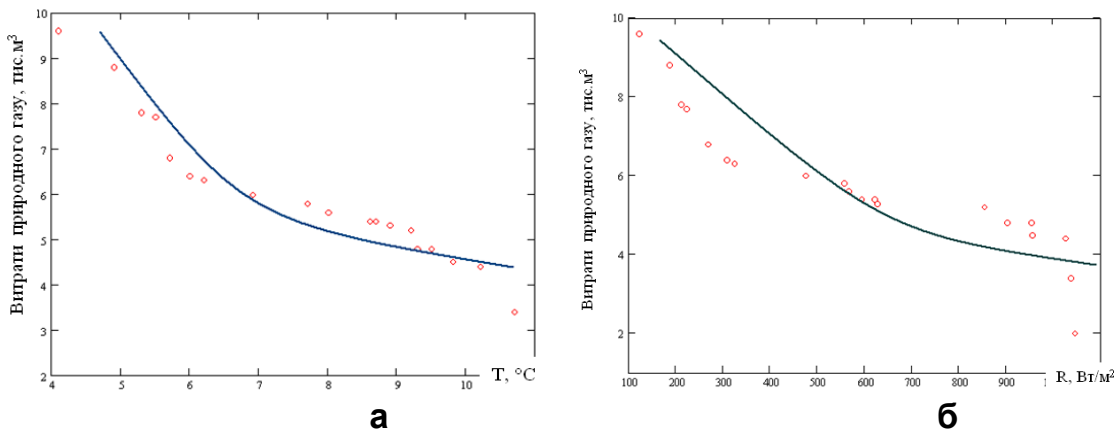
**Рис.2. Статична характеристика об'єкта керування**

Коефіцієнти рівняння визначалися за методом найменших квадратів.

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

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

На рис.3 наведено експериментальну та розраховану залежності витрат природного газу від температури повітря та від інтенсивності сонячної радіації.



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

Крім того, важливо порівняти енергоефективність для систем керування, що працюють за різними алгоритмами.

У таблиці показано результати розрахунку витрат природного газу для систем керування різного типу: 1 – для системи керування, що функціонує у теплиці за алгоритмом стабілізації параметрів мікроклімату, 2 – системи керування, в якій використовується прогнозування зовнішніх збурень, а також для 3 – системи керування, в якій використовується як

нейромережеве прогнозування зовнішніх природних збурень, так і оптимізація параметрів мікроклімату з метою максимізації приросту овочевої продукції.

### Результати моделювання з використанням різних алгоритмів роботи системи керування

№ з/п	Зовнішні збурення		Змінні керування	Витрати природного газу, м <sup>3</sup> , для систем керування типів		
	Зовнішня температура повітря, °С	Інтенсивність сонячної радіації, Вт/м <sup>2</sup>	Температура повітря в теплиці, °С	1	2	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

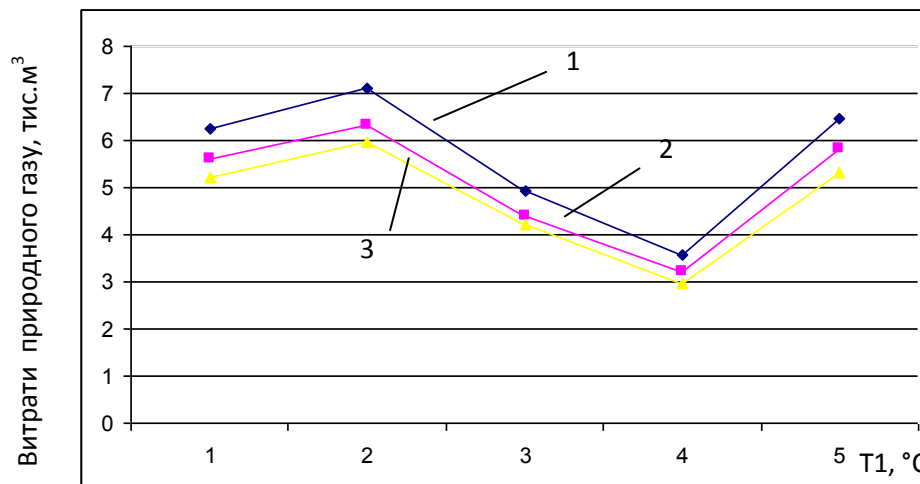


Рис. 4. Залежність витрат природного газу від зовнішньої температури повітря

На рис. 4 чітко видно зменшення витрат природного газу при використанні нейромережевого прогнозування зовнішньої температури повітря та інтенсивності сонячної радіації за рахунок врахування цих параметрів при розрахунку кількості теплової енергії, що надходить у теплицю ззовні. При використанні алгоритму оптимізації приросту рослин кількість природного газу також зменшується, що пояснюється використанням отриманого в результаті активного експерименту рівняння залежності приросту від параметрів мікроклімату.

### Висновки

1. Отримано математичну модель витрат природного газу у теплиці, що враховує параметри зовнішнього природного середовища для підтримання заданої температури повітря.

2. Здійснено імітаційне порівняння енергоефективності при використанні систем керування трьох типів, показано доцільність використання системи керування з нейромережним прогнозуванням збурень та блоком оптимізації приросту рослинної маси.

### Список літератури

1. Лисенко В. П. Методи і засоби створення структури бази даних для підсистеми моніторингу автоматизованих систем керування технологічними процесами [Електронний ресурс] / В. П. Лисенко, Б. Л. Голуб, А. О. Дудник. Режим доступу: [http://archive.nbuv.gov.ua/e-journals/eia/2012\\_3/12lvp.pdf](http://archive.nbuv.gov.ua/e-journals/eia/2012_3/12lvp.pdf).

2. Лисенко В. П. Оптимальне управління: стан та перспективи розвитку в тепличній галузі / В. П. Лисенко, А. О. Дудник // Науковий вісник НУБіП України. – К., 2011. – № 166/3. – С.104 – 112.

3. 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 України, 2011. – №3–4. – С.102–108.

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.

*Приведены результаты математического моделирования зависимости расхода природного газа на отопление теплиц от параметров внешней среды с целью обеспечения заданной внутренней температуры в теплице. Разработана математическая модель в виде уравнения регрессии, определен оптимальный режим микроклимата для обеспечения максимальной продуктивности фотосинтеза.*

**Математическая модель, эксперимент, уравнение регрессии, микроклимат теплицы.**

*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 is a regression equation determined the optimal mode-conditioning for maximum productivity of photosynthesis.*

**Mathematical model, experiment, regression equation, greenhouse microclimate.**