

# МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМИ ТЕПЛОЕНЕРГОПОСТАЧАННЯ БУДІВЛІ З ТРАДИЦІЙНИМИ ТА ВІДНОВЛЮВАНИМИ ДЖЕРЕЛАМИ

Вінницький національний технічний університет

## **Анотація**

*Розглянута методика математичного моделювання системи теплоенергопостачання (СТЕП) будівлі з традиційними та відновлюваними джерелами. Наведений підхід до визначення типів та потужностей СТЕП.*

**Ключові слова:** система теплоенергопостачання, відновлювані джерела енергії, системний аналіз, дисконтовані затрати.

## **Abstract**

*The technique of mathematical modeling of the heat supply system (SHS) of a building with traditional and renewable sources is considered. The approach to the determination of types and capacities of SHS is given.*

**Keywords:** system of heat supply, renewable energy sources, system analysis, discounted costs.

## **Вступ**

Енергія відновлюваних джерел має малу густину, тому відновлювальні джерела енергії мають великі розміри, матеріаломісткі і, відповідно – дорогі. Визначення оптимального співвідношення між потужностями традиційних та відновлюваних джерел є актуальним. Кількість джерел та зв'язки між ними відображає теплова схема системи теплоенергопостачання (СТЕП). Метою роботи є математичне моделювання теплової схеми СТЕП для її дослідження та оптимізації.

## **Основна частина**

Розробку СТЕП доцільно виконувати в два етапи: попередніх досліджень та проектування теплової схеми. На першому етапі визначаються потужності джерел теплової та електричної енергії різних типів при заданих загальних потужностях СТЕП. Критерієм якості варіанта СТЕП є числове значення комплексного критерію, складовими якого є частинні критерії оцінок екологічних, медичних, економічних, політичних та соціологічних показників. Математична модель СТЕП будується за відомою методикою системного аналізу. Варіантними розрахунками системи на математичній моделі за значеннями комплексного критерію визначаються декілька перспективних варіантів. Потужності цих варіантів є вихідними даними для другого етапу. На цьому етапі проектується теплова схема СТЕП. Приклад теплової схеми СТЕП наведений на рис. 1.

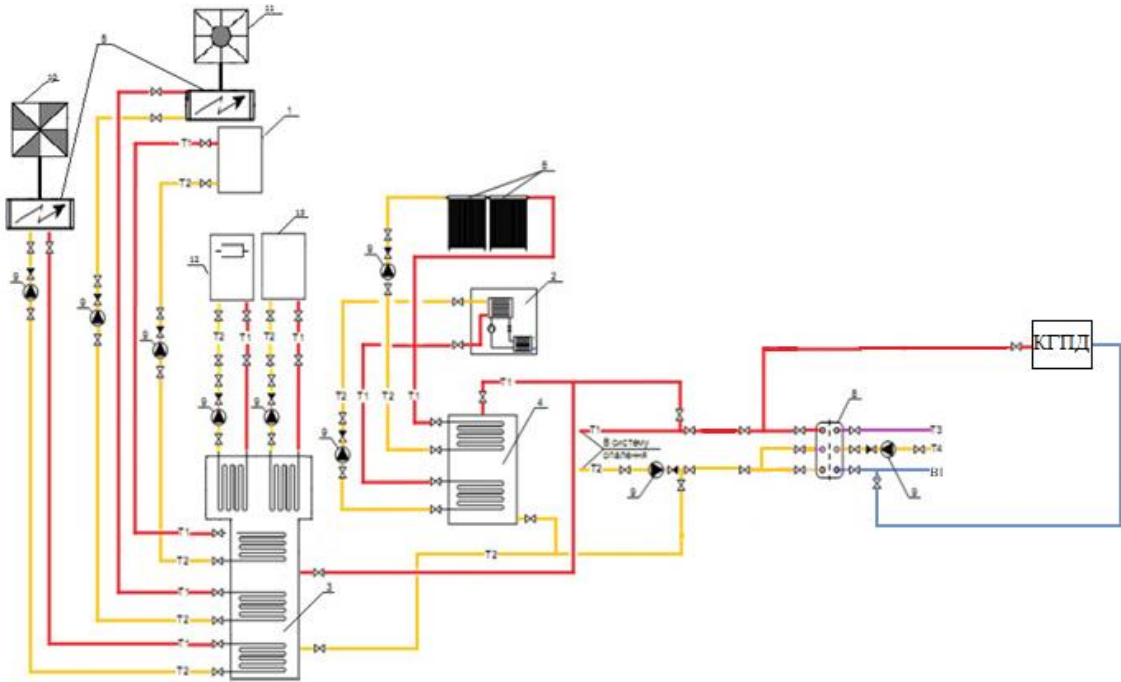


Рис. 1. Теплова схема СТЕП з традиційними та відновлювальними джерелами енергії

1 – газовий конденсаційний котел; 2 – тепловий насос; 3, 4 – водонагрівач-акумулятор; 5 – елекроводонагрівач; 6 – вакуумні сонячні колектори; 8 – теплообмінник блочного теплового пункту системи гарячого водопостачання; 9 – циркуляційні насоси; 10 – вітряна електростанція; 11 – сонячна електростанція; 12 – електрокотел; 13 – піролизний котел; КГПД – когенераційний газо-поршневий двигун; T1, T2 – трубопроводи гарячої води для опалення та подачі (подавальний і зворотній); T3, T4 – трубопроводи гарячої води для гарячого водопостачання (подавальний і циркуляційний); B1 – водогін.

СТЕП працює так: сонячна енергія надходить на СЕС (11) та перетворюється в електричну енергію, що передається на водонагрівач (5). Вакуумні сонячні колектори (6) перетворюють сонячну енергію в теплову і передають її на водонагрівачі-акумулятори (3, 4) через подавальний трубопровід (T1). В свою чергу ВЕС (10) за допомогою енергії вітру виробляє електричну енергію та передає її на водонагрівач (5) з якого гаряча вода надходить в систему. Гаряча вода з газового котла (1), теплового насосу (2), електрокотла (12) подається по трубопроводах в систему опалення та на теплообмінники гарячого водопостачання. Парогенератор (11) виробляє пару, яка надходить в турбогенератор, а відпрацьована пара з турбогенератора йде в теплообмінник, який підігріває воду для опалення та гарячого водопостачання. Когенераційний газо-поршневий двигун виробляє електроенергію та теплофікаційну гарячу воду.

Задачами числових досліджень, проектування та експлуатації теплових схем котельень є наступні:

1. синтез теплової схеми з оптимальними структурами та параметрами;
2. дослідження оптимізованої схеми на режимах, відмінних від базових;
3. техніко-економічні обґрунтування пропозицій з підвищення ефективності СТЕП, що знаходяться в експлуатації.

При розв'язанні задач першого типу виконується комплексна оптимізація елементів теплової схеми. Режимні дослідження теплових схем необхідні для розрахунків на міцність елементів устаткування СТЕП, розробки системи захисту, автоматики, сигналізації і для складання інструкцій з її експлуатації.

Математично задача синтезу та аналізу схем СТЕП в загальному вигляді може бути записана наступним чином. Знайти значення цільової функції  $F(X, Y, A, G)$  при обмеженнях у вигляді рівностей та нерівностей :

$$F(X, Y, A, G) = 0, \quad X^{min} \leq X \leq X^{max}, \quad Y^{min} \leq Y \leq Y^{max}, \quad X \in \{X_n, X_d\}, \quad A \in \{A_d, A_u\}, \quad G_j \in J, \quad (1)$$

де  $F$  – система рівнянь опису процесів і конструктивно-економічних оцінок устаткування схеми структури  $G_j$  з кінцевої множини структур  $J$ ;  $X_n, X_d$  – сукупності відповідно безперервних і дискретних незалежних змінних;  $Y$  – сукупність залежних змінних;  $A$  – сукупність зовнішніх детермінованих параметрів  $A_d$  і ймовірно змінних в часі параметрів  $A_u$ .

Синтез оптимальної схеми зводиться до побудови управління по  $X, Y, G$  з метою оптимізації функціонала  $F$ . Режимні дослідження схеми являють собою знаходження значень  $Y$  при заданих  $X, G_j$ .

Структури СТЕП передаються графами. Конструктивно-технологічна відповідність устаткування котельні графу досягається присвоєнням кодів його вузлам та дугам. Граф теплової схема СТЕП з традиційними та відновлювальними джерелами енергії наведений на рис. 2.

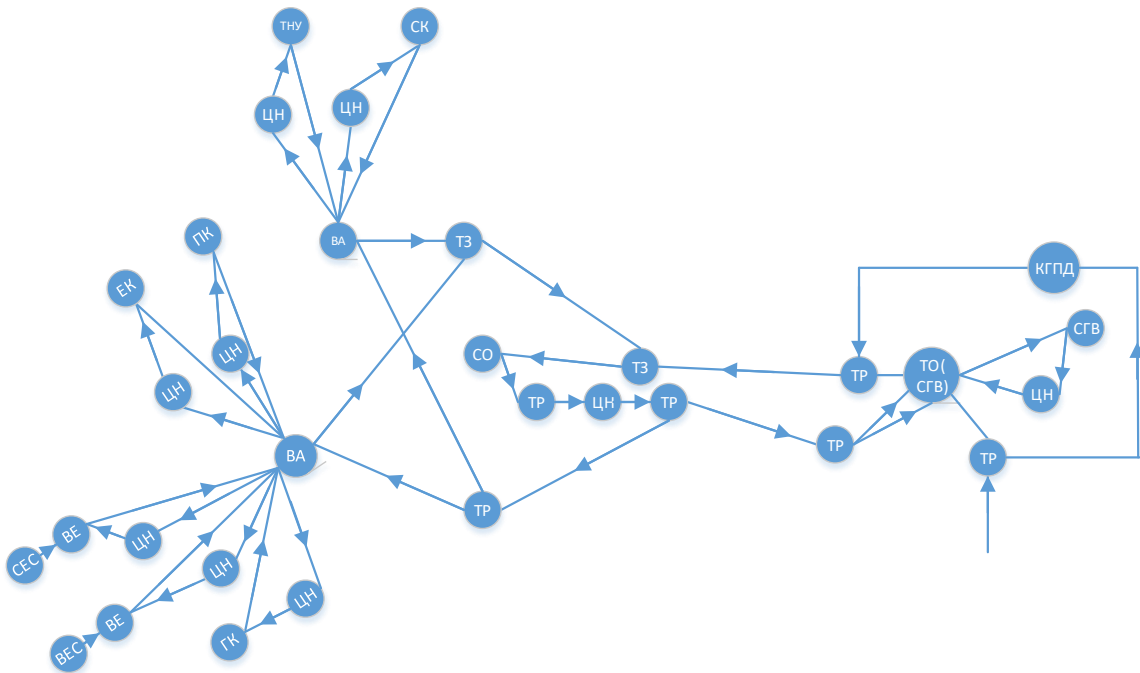


Рис. 2. Граф теплової схема СТЕП з традиційними та відновлювальними джерелами енергії

ВЕС – вітряна електростанція; СЕС – сонячна електростанція; ВЕ – електроводонагрівач; ЦН – циркуляційний насос; ГР – газовий конденсаційний котел; ЕК – електричний котел; ПР – піролізний котел; ТНУ – тепловий насос; СК – вакуумні сонячні колектори; ВА – водонагрівач-акумулятор; ТР – точка розподілу; ТЗ – точка змішування; СО – система опалення; ТО (СГВ) – теплообмінник блочного теплового пункту системи гарячого водопостачання; КГПД – когенераційний газопоршневий двигун; СГВ – система гарячого водопостачання.

На закодованому (технологічному) графі  $G^T$  визначена система  $DF$  декодуючих функцій, які отримують характеристики (коди, терми) елементів графа. За допомогою декодуючих функцій будуються логічні функції (предикати)  $l_i(G^T, DF)$ , які приймають значення 0 або 1 в залежності від виконання певних умов. Наприклад, належить або не належить код даного вузла деякій підмножині кодів однотипних вузлів СТЕП, належить чи не належить дана дуга підмножині дуг, інцидентних деякому вузлу та інше.

Фізичні процеси в СТЕП описуються системою рівнянь збереження, а саме: маси, кількості руху, енергії; рівнянь приросту ентропії та стану робочих тіл та теплоносіїв. Рівняння кожного типу мають трансформації відповідно технологічному апарату СТЕП. Вибір або невібір конкретної трансформації рівняння (числової функції) з бібліотеки рівнянь визначає значення предиката (логічної функції).

Ці обумовлює доцільність представлення математичної моделі СТЕП у вигляді сукупності логіко-числових операторів з числових та логічних функцій, автоматично формуючих на графі необхідну систему рівнянь. Математична модель СТЕП має вигляд:

$$\frac{\Delta F(G^T, I, DF)}{\Delta r LT(G^T, I, DF)} = 0, r = 1, 2 \dots s, \quad (2)$$

де  $\Delta$  – знак логіко-числового оператора;  $\Delta F$  – оператор якості варіанта STEП;  $LT$  – ідентифікатор логіко-числового оператора;  $I$  – інформаційна мережа;  $G^T$  – технологічний граф схеми котельні.

Кожний з логіко-числових операторів є сукупністю логіко-числових функцій, які записуються як добуток висловлювальної та числової функцій:

$$\Delta t_i(G^T, I, DF) = l_i(G^T, DF) \cdot t_i(x, y); \quad x, y \in I, \quad (3)$$

де  $I$  – висловлювальна функція;  $t$  – числова функція (рівняння процесу);  $x, y$  – залежні та незалежні змінні.

Робота моделі (2) полягає в перебиранні вузлів графа, виділенні кодів вузлів та дуг декодуючими функціями  $DF$  та звертанні по відповідних кодам вузлів трансформацій рівнянь системи. Система рівнянь розв'язується методом ітерацій. Критеріями якості варіанта теплової схеми  $F$  є сумарні дисконтованні затрати, термін окупності, питомі витрати палива.

Вибір потужностей джерел енергії на етапі попередніх досліджень виконаний за критеріями капіталовкладення, прибуток від продажу електроенергії, затрати на тверде паливо, затрати на електроенергію, кількість викидів  $CO_2$ ,  $SO_2$ ,  $NO_2$ , кількість золи, рівень шуму, відносна ймовірність відмов елементів устаткування. Найкращим є варіант STEП наступного складу та потужностей: піролизний котел 1200 кВт; 1756 кВт електричної потужності з електромережі; сонячна електростанція 100 кВт; вітряна електростанція 50 кВт; газовий котел 600 кВт; електрокотел 200 кВт; теплонасосна установка 12 кВт; сонячний колектор 52 кВт; водонагрівач-акумулятор 138 кВт; водонагрівач електричний 120 кВт.

## Висновки

1. Розглянута методика математичного моделювання STEП з традиційними та відновлювальними джерелами енергії.
2. Визначені типи та потужності джерел STEП методом системного аналізу.
3. Розроблені математичні моделі та програмні реалізації котлів, теплонасосних установок, сонячних колекторів, сонячних та вітрових електростанцій, теплообмінників, бака-акумулятора, турбіни.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Головченко О. М. Удосконалення методів розрахунку теплоенергетичних установок [електронний ресурс] / О. М. Головченко, О. М. Нанак // Матеріали XIV науково-технічної конференції ВНТУ, Вінниця, 23–24 березня 2016 р. – електрон. текст. дані. – 2016. – режим доступу : <http://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-feeem/all-feeem/2016/paper/view/557>. – назва з екрана.

**Денис Юрійович Лебедь** – студент групи EM-19m, факультет електроенергетики та електромеханіки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: [4e15b.lebyd@gmail.com](mailto:4e15b.lebyd@gmail.com).

**Головченко Олексій Михайлович** – к. т. н., доцент, доцент кафедри електромеханічних систем автоматизація в промисловості і на транспорті, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця.

**Олена Миколаївна Нанак** – к. т. н., доцент кафедри електромеханічних систем автоматизація в промисловості і на транспорті, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: [e\\_nanaka@ukr.net](mailto:e_nanaka@ukr.net).

**Denys Yu. Lebed** – student of the group EM-19m, Department of Electroenergy and Electromechanics, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: [4e15b.lebed@gmail.com](mailto:4e15b.lebed@gmail.com).

**Oleksiy M. Golovchenko** – Cand. Sc. (Eng), Assistant Professor of the Chair of Electromechanical Systems Automation in Industry and Transport, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia.

**Olena M. Nanaka** – Cand. Sc. (Eng), Assistant Professor of the Chair of Electromechanical Systems Automation in Industry and Transport, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: [e\\_nanaka@ukr.net](mailto:e_nanaka@ukr.net).