

УДК 621.363

**КОНТРОЛЬ ТЕМПЕРАТУРНИХ РЕЖИМІВ РОБОТИ
ТЕРМОЕЛЕКТРИЧНИХ МОДУЛІВ У КОГЕНЕРАЦІЙНИХ
УСТАНОВКАХ**

М.І. Рутило, кандидат технічних наук

Тернопільський національний педагогічний університет імені В. Гнатюка

e-mail: rutmik@ukr.net

Обґрунтовано необхідність створення систем керування режимами роботи термоелектричних модулів у теплогенераторних когенераційних установках. Запропоновано алгоритм визначення температури гарячої поверхні модуля за його електричними параметрами. Створено імітаційну модель системи керування режимами роботи термоелектричного модуля на базі запропонованого алгоритму.

Ключові слова: термоелектричний модуль, алгоритм, імітаційна модель, система керування, теплогенератор.

Виснаження природних запасів традиційних енергоресурсів (нафти, газу, вугілля тощо) стимулює наукові розробки, які відносяться до альтернативної енергетики: когенерація електроенергії з відпрацьованого тепла та одержання теплової енергії з електричного струму. Такі перетворення енергії можна реалізувати за допомогою термоелектричних перетворювачів.

Необхідно відзначити, що екологічний та економічний зиск від впровадження таких елементів важко переоцінити: вони дають змогу безпечно для навколишнього середовища генерувати електроенергію з теплових втрат АЕС і ТЕС, підприємств металургійної та хімічної промисловості, двигунів внутрішнього згорання, що дасть змогу заощаджувати 20-25 % традиційних енергоресурсів.

Метою дослідження – обґрунтування та розробка алгоритму керування температурними режимами термоелектричних модулів у системах когенерації електричної енергії з теплових втрат шляхом імітаційного математичного

моделювання для підвищення їх енергоефективності та експлуатаційної надійності.

Матеріали і методика дослідження. Найбільш перспективним в даний час є використання напівпровідникових низькотемпературних термоелектричних перетворювачів (модулів) з робочою температурою гарячої поверхні 150-200 °С, які, у порівнянні із іншими типами, володіють кращими енергетичними характеристиками та вищим ККД [1, 2].

Це дозволяє більш ефективно використовувати їх у теплогенераторних установках з метою когенерації електричної енергії з теплових втрат, які у більшості випадків мають низькотемпературний градієнт [3].

У таких системах необхідно забезпечити максимально можливі температурні режими як на гарячій поверхні модуля, так і максимально допустиму різницю температур його холодної та гарячої поверхонь, що для деяких модулів становить 100 – 150 °С.

Отже для забезпечення ефективної роботи термоелектричного генератора необхідно досягнути максимально допустимої різниці температур між поверхнями модуля. Крім того, величина електричного опору навантаження має наближатися до величини внутрішнього опору генераторного модуля в умовах експлуатації.

Результати дослідження. Проведені нами дослідження термоелектричного генератора (ТЕГ), вмонтованого у теплогенераторі, який працює на твердому біопаливі, дали змогу встановити, що різниця температур на поверхнях модуля залежить від багатьох факторів, пов'язаних як із теплоенергетичними характеристиками біопалива, технічними параметрами теплогенератора, так і величиною струму увімкненого навантаження [4].

У зв'язку з цим виникає необхідність контролю температурних режимів роботи вказаного устаткування та забезпечення їх допустимих меж. Типовим шляхом вирішення таких задач є встановлення температурних давачів на гарячій і холодній поверхнях модуля (термопар) і використання їх сигналів для системи керування виконавчими пристроями, що забезпечують підтримання

заданих теплових режимів роботи модуля. Проте, виходячи із особливостей конструкції побудови генераторних модулів та зважаючи на несприятливі температурні режими на гарячій поверхні і їх нестабільність у випадку розташування декількох елементів у поздовжньому до надходження теплового потоку напрямку, ускладнюється процес контролю температур та знижується його надійність через необхідність застосування декількох давачів.

Тому, з огляду на викладене вище, нами запропоновано алгоритм визначення температури гарячої поверхні модуля за його електричними параметрами – вихідної напруги та струму навантаження. Різницю температур гарячої і холодної поверхонь ΔT можна визначити за наступною залежністю:

$$\Delta T = \frac{U + I \left(R_0 + \alpha \left(\frac{T_1 + T_2}{2} - T_0 \right) \right)}{k}, \quad (1)$$

а, з урахуванням температури холодної поверхні, температура гарячої:

$$T_1 = T_2 + \Delta T,$$
$$T_1 = T_2 + \frac{U + I \left(R_0 + \alpha \left(\frac{T_1 + T_2}{2} - T_0 \right) \right)}{k}, \quad (2)$$

де U – вихідна напруга, I – струм навантаження, R_0 – внутрішній опір модуля при температурі T_0 , α – температурний коефіцієнт зміни опору, T_1 , T_2 – відповідно температури гарячої та холодної поверхонь, k – коефіцієнт Зеебека.

На основі поданих вище результатів досліджень розроблено імітаційну модель дослідної установки на базі термоелектричного модуля для дослідження режимів його роботи (рис. 1).

Представлена імітаційна модель відтворює функціонування системи контролю температурних режимів термоелектричного генератора у холостому та навантаженому режимах роботи, під час яких можуть встановлюватися різні температурні режими та характеристики навантаження.

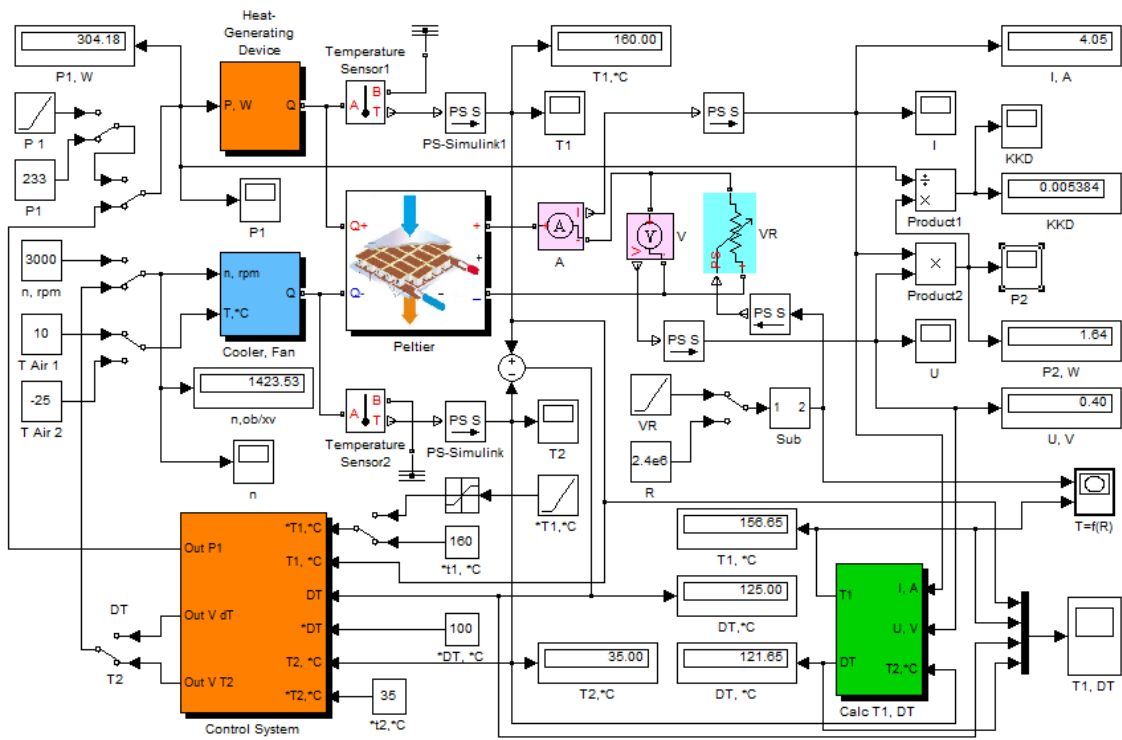


Рис. 1. Імітаційна модель дослідної установки на базі термоелектричного модуля

Зокрема величина опору навантаження може задаватися сталою або плавнозмінною, виходячи із конкретних умов дослідження. На рис. 2 представлено структуру підсистеми Calc T1, DT імітаційної моделі (див. рис. 1), яка реалізує описаний вище алгоритм за поданими залежностями (1), (2).

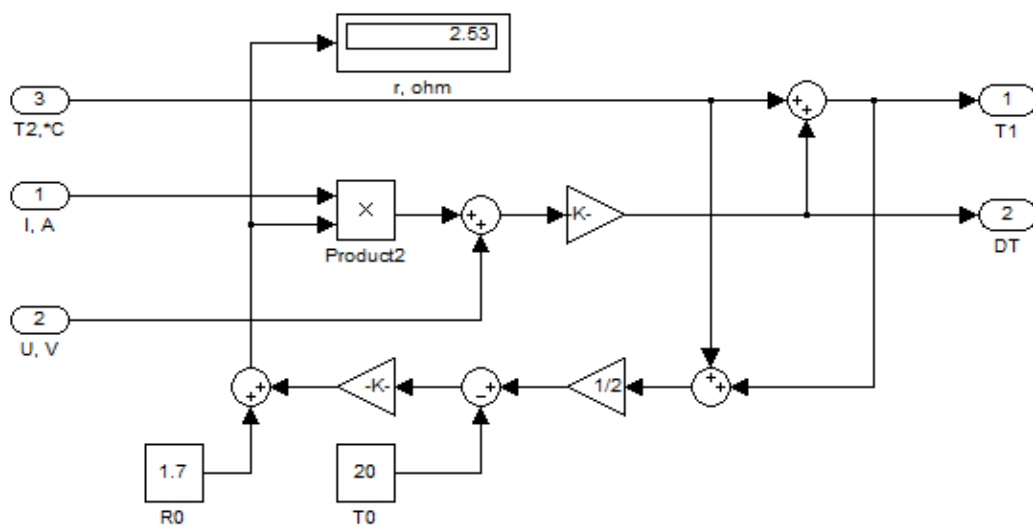


Рис. 2. Структура підсистеми алгоритму обчислення температур модуля

Результати моделювання режимів функціонування дослідної установки представлені на рис. 3.

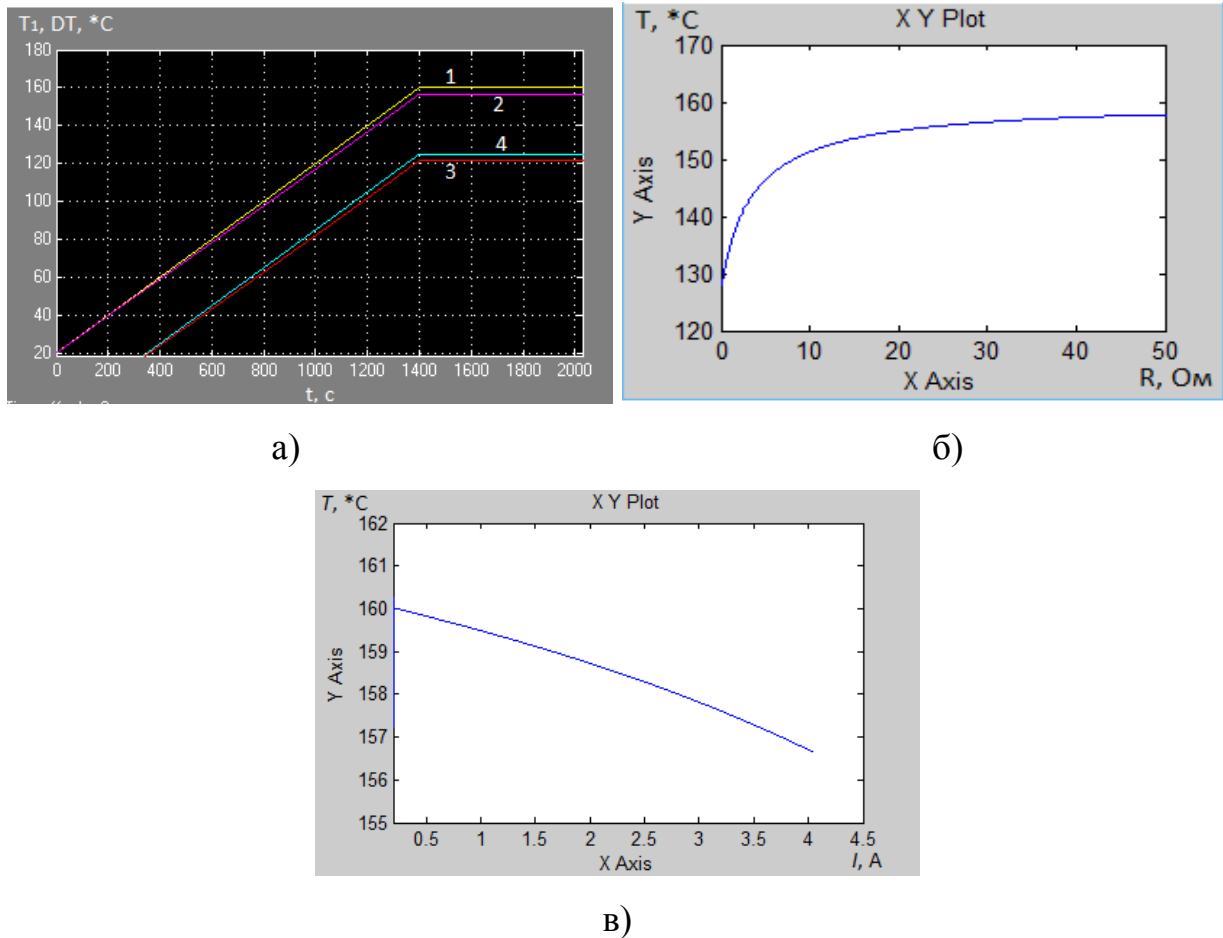


Рис. 3. Результати моделювання режимів теплогенераторної установки:

а – виміряні і розраховані величини температур гарячої поверхні модуля T_1 (1, 2), різниця ΔT (3, 4); б – залежність температури гарячої поверхні від опору навантаження для сталих підведеної теплової потужності та температури холодної поверхні; в – залежність відхилення розрахованої величини температури гарячої поверхні модуля від дійсної (160 °C) під час зміни струму навантаження

Відхилення розрахункової величини температури від дійсної зумовлене перепадом температур на керамічних стінках модуля внаслідок зміни підведеної теплової потужності, і є не суттєвим, оскільки відображає реальну

температуру спаїв напівпровідникових елементів термопар, яка є нижчою ніж температура гарячої поверхні.

Висновки

За результатами імітаційного математичного моделювання режимів роботи дослідної установки отримано залежності температури гарячої поверхні від опору навантаження для сталих підведеної теплової потужності та температури холодної поверхні, а також відхилення розрахованої величини температури гарячої поверхні модуля від струму навантаження, що дає змогу здійснювати керування температурними режимами термоелектричного модуля за розробленим алгоритмом з похибкою не вище 3%, застосування якого у когенераційних установках дає змогу підвищити їх енергоефективність та експлуатаційну надійність.

Список літератури

1. Overview of Thermoelectric Power Generation Technologies in Japan [Електронний ресурс]. – 2011. – Режим доступу до журн.: http://www.everredtronics.com/files/TE_power.generation.in.Japan.pdf
2. Thermoelectric Seebeck Generator-TEG. [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу : <http://www.everredtronics.com/thermoelectric.generator.html>.
3. Пат. 81189 А UA, МПК H01L 35/00 (2013) Термоелектричний генератор для рекуперації відпрацьованого тепла газоперекачувального агрегату / Анатичук Л. І., Прибила А.В. – № 201214569; заявл. 19.12.2012; опубл. 25.06.2013, Бюл. № 12.
4. Федорейко В.С. Використання термоелектричних модулів у теплогенераторних когенераційних системах / В.С. Федорейко, М.І. Рутило, І.Б. Луцик та інші // Науковий вісник Національного гірничого університету. – НГУ, 2014. – № 6. – С. 27–32.

**КОНТРОЛЬ ТЕМПЕРАТУРНЫХ РЕЖИМОВ РАБОТЫ
ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МОДУЛЕЙ В КОГЕНЕРАЦИОННЫХ
УСТАНОВКАХ**

Н.И. Рутыло

Обоснована необходимость создания систем управления режимами работы термоэлектрических модулей в теплогенераторных когенерационных установках. Предложен алгоритм определения температуры горячей поверхности модуля по его электрическим параметрам. Создана имитационная модель системы управления режимами работы термоэлектрического модуля на базе предложенного алгоритма.

Ключевые слова: *термоэлектрический модуль, алгоритм, имитационная модель, система управления, теплогенератор.*

**TEMPERATURE CONTROL OF THERMOELECTRIC MODULES IN
COGENERATION PLANTS**

M. Rutylo

The necessity of creation of control modes of thermoelectric modules in heating generators cogeneration units. The algorithm for determining the temperature of the hot surface of the module for its electrical parameters. Created a simulation model of control system of thermoelectric module modes based on the proposed algorithm.

Keywords: *thermoelectric module, algorithm, simulation model, control system, heat generator.*