

## АНАЛИТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ВЫХОДНОГО НАПРЯЖЕНИЯ РЕГУЛЯТОРА С ШИП ПРИ РАБОТЕ НА АКТИВНУЮ НАГРУЗКУ

И. М. Голодный,  
А. В. Санченко

*Аннотация.* Приведены результаты спектрального состава выходного напряжения регулятора на базе широтно-импульсного преобразователя для асинхронного электропривода.

*Ключевые слова:* высшие гармоники, напряжение, широтно-импульсный преобразователь, спектральный состав, форма кривой напряжения

## ANALYTICAL ANALYSIS OF OUTPUT VOLTAGE OF REGULATOR WITH SHIP AT WORK ON RESISTIVE LOAD

I. Golodnyi,  
A. Sanchenko

*Abstract.* The results of the spectral composition of the output voltage regulator based on the PWM inverter for the induction motor.

*Keywords:* higher harmonics, voltage, PWM inverter, spectral composition, voltage waveform

УДК 620.97; 621.5

## ДОСЛІДЖЕННЯ ПАРАМЕТРІВ РАДІАТОРІВ ОХОЛОДЖЕННЯ КОГЕНЕРАЦІЙНОЇ УСТАНОВКИ БІОТЕПЛОГЕНЕРАТОРА

Р. І. ЗАГОРОДНІЙ, кандидат технічних наук  
Тернопільський національний педагогічний університет  
ім. В. Гнатюка  
e-mail: zagoroman@ukr.net

*Анотація.* Описано розрахунок параметрів радіатора для охолодження когенераційної установки теплогенератора. Запропоновано застосовувати голчасті радіатори. Наведено результати експериментальних досліджень.

*Ключові слова:* когенераційна установка, радіатори охолодження, термоелектричні модулі, голчастий радіатор

Перспективним напрямом у галузі енергозабезпечення є впровадження когенераційних технологій. Когенераційні установки широко використовуються в малій енергетиці, що зумовлено такими перевагами: по-

---

© Р. І. Загородній, 2016

перше, тепло використовується безпосередньо в місці отримання, що коштує дешевше, ніж будівництво та експлуатація багатокілометрових теплотрас; по-друге, електроенергія використовується здебільшого в місці отримання без накладних витрат постачальників енергії, і її вартість для споживача може бути дещо меншою, ніж у енергії з мережі. Адаже дуже часто через зношеність обладнання існуючих електромереж ускладнено підключення нових споживачів, а іноді й просто економічно недоцільно (у разі великого віддалення споживача від ЛЕП).

У результаті застосування автономних енергоджерел із комбінованим виробництвом електричної й теплової енергії (когенерація) забезпечується певний енергетичний резерв у централізованій системі.

Використання термоелектричних модулів у когенераційних установках на базі твердопаливних теплогенераторів дає змогу генерувати електроенергію з теплових викидів.

Тому доцільно виконати розрахунок та дослідження параметрів радіаторів охолодження для забезпечення максимально допустимої різниці температур на поверхнях ТЕГ.

**Мета досліджень** – визначення оптимальних параметрів радіаторів охолодження когенераційної установки біотеплогенератора.

**Матеріали і методика досліджень.** В основу процесу дослідження покладено математичні описи термоелектричного перетворення енергії [2]. Дослідження та розрахунок параметрів радіаторів охолодження для термоелектричних генераторів дає змогу оцінити ефективність використання їх на когенераційних установках з метою забезпечення оптимальних температурних режимів роботи ТЕГ.

**Результати досліджень.** Електрична потужність  $P_{ТЕП}$ , що виробляється генераторним модулем, визначається згідно із законом збереження енергії, за різницею теплових потоків його холодної  $Q_x$  та гарячої  $Q_z$  сторони.

$$P_{ТЕП} = Q_z - Q_x \quad (1)$$

Термоелектричний генератор на зовнішньому навантаженні  $R_n$  створює напругу  $U$ , що дорівнює термоелектрорушійній силі  $E_{mEPC}$ , з урахуванням спаду напруги на внутрішньому опорі генератора  $R$  [4]:

$$U = E_{mEPC} - I \cdot R \quad (2)$$

Сила струму  $I$  в колі прямо пропорційна різниці температур  $\Delta T$  і визначається за виразом:

$$I = \frac{2N \cdot \alpha \cdot \Delta T}{R + R_n}, \quad (3)$$

де:  $N$  – число пар термоелектричних елементів у модулі;

$\alpha$  – коефіцієнт Зеебека (термоЕРС).

Потужність, що відводиться в зовнішнє коло, прямо пропорційна квадрату різниці температур:

$$P = I^2 \cdot R_n = \frac{(2N \cdot \alpha)^2 \cdot \Delta T^2}{(R + R_n)^2} R_n \quad (4)$$

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

Різниця температур на поверхнях модуля, встановленого в біотеплогенераторі, який працює на твердому паливі, залежить від цілого ряду факторів, що у свою чергу, залежать від взаємозв'язку теплоенергетичних характеристик біопалива й технічних параметрів теплогенератора [3].

Для розрахунку та моделювання радіаторів можна використати комерційний продукт Qfin, розробником якого є фірма «Qfinsoft». Цей продукт поставляється фірмою в трьох версіях: базова (basic) – для розрахунків радіаторів, охолоджуваних повітрям; стандартна (standard) – для розрахунків будь-яких типів радіаторів і теплообміну вузлів друкованих плат; розширена (advanced) – для проведення розрахунків та оптимізації будь-якого рівня, у тому числі на рівні приладу.

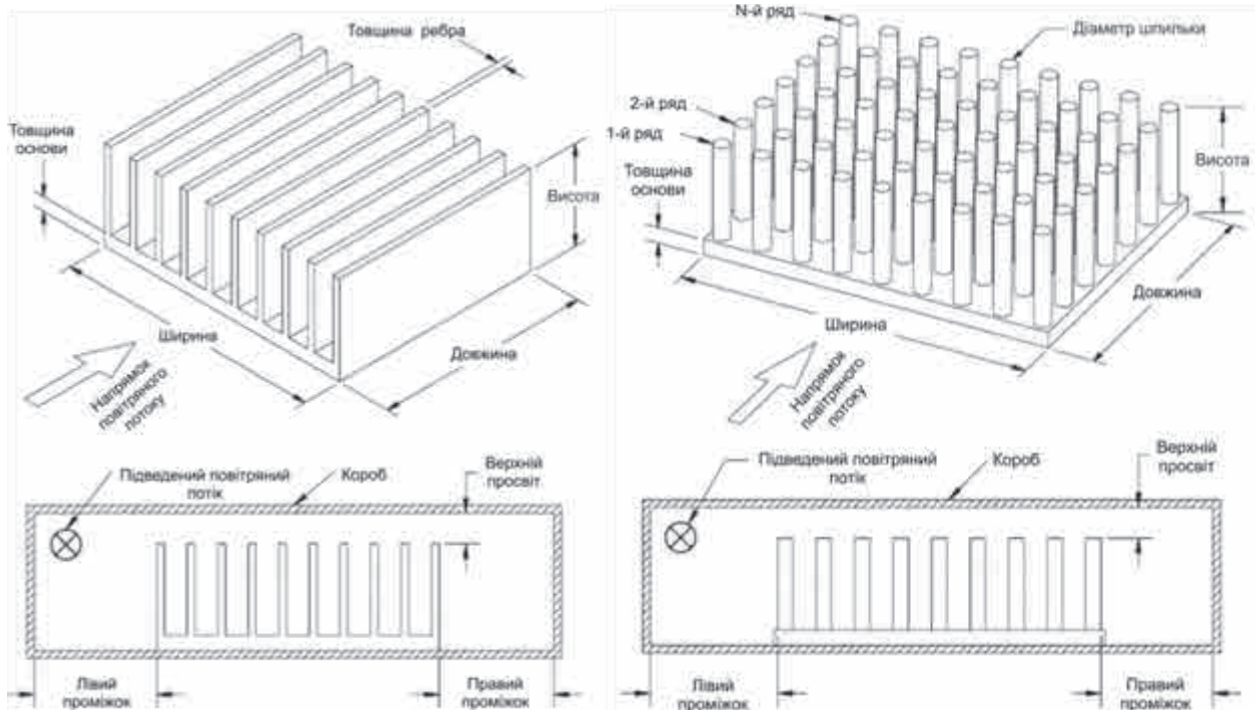
Існує також ряд інших серйозних комерційних продуктів, що дають змогу провести якісне теплове моделювання. До цих продуктів належить пакет SolidWorks, за допомогою якого можна виконати повний цикл розробки конструкції статичного перетворювача, і не тільки побудувати теплову модель, але й зробити інші конструкторські розрахунки, наприклад, оцінити характеристики міцності, віброміцності тощо [1].

Аналіз наукової літератури дав нам змогу встановити, що кращий тепловідвід від гарячої сторони термоелектричних елементів виконуватиме голчастий радіатор. Перевірку припущення проводили за допомогою спеціального програмного забезпечення [4], у якому як вхідні дані було задано розміри радіаторів, параметри конструкції, теплову потужність охолодження, площу охолодження (табл. 1).

### 1. Вхідні параметри радіаторів

Параметри	Ребристий радіатор	Голчастий радіатор
Матеріал	алюміній	алюміній
Ширина	360 мм	360 мм
Довжина	400 мм	400 мм
Висота	97 мм	97 мм
Товщина основи	17 мм	17 мм
Товщина ребра	8 мм	8 мм
Кількість рядів	28	28
Кількість у ряді		25
Температура навколишнього середовища	10 °C	10 °C
Кількість теплоти, яку треба розсіяти	250 Вт	250 Вт
Ширина джерела тепла	50 мм	50 мм
Довжина джерела тепла	50 мм	50 мм
Верхній просвіт	100 мм	100 мм
Лівий просвіт	50 мм	50 мм
Правий просвіт	50 мм	50 мм

У результаті проведених розрахунків, ми визначили оптимальні розміри радіатора для зменшення затрат електроенергії на примусове охолодження (рис.1). Також розраховано параметри радіатора, що забезпечить ефективне охолодження термогенеруючих модулів без примусового охолодження.



**Рис. 1. Параметри радіаторів: а) ребристого, б) голчастого.**

Отримані результати (табл. 2 і 3) свідчать, що ефективніше охолодження відбувається при використанні голчастого радіатора. Слід зауважити, що застосовувати голчастий радіатор із такими параметрами можна без використання примусового охолодження, а застосовуючи природну конвекцію повітря.

Апробація розрахованого радіатора реалізована на дослідній когенераційній установці, що працює на основі теплогенератора потужністю 20 кВт (рис. 2). На димовивідну трубу встановлено два термоелектричні перетворювачі. На їх холодну сторону змонтований голчастий радіатор. Конструкція труби розроблена так, щоб повітря шляхом природної конвекції охолоджувало радіатор.

У результаті дослідження отримано 18 Вт/год електричної потужності з двох послідовно з'єднаних ТЕГ, за температури на холодній стороні 50 °С а на гарячій – 160 °С.

## 2. Результати розрахунку радіаторів

Витрати повітря	Ребристий радіатор			Голчастий радіатор		
	Тепловий опір	Перепад тиску	База т-ри	Тепловий опір	Перепад тиску	База т-ри
0.5 m/s (~100 LFM)	0.66 °C/W	0.5 Pa (0.002 inH <sub>2</sub> O)	175.5 °C	0.13 °C/W	0.16 Pa (0.001 inH <sub>2</sub> O)	43.1 °C
1.0 m/s (~200 LFM)	0.28 °C/W	1.8 Pa (0.007 inH <sub>2</sub> O)	79.4 °C	0.11 °C/W	0.65 Pa (0.003 inH <sub>2</sub> O)	37.4 °C
1.5 m/s (~300 LFM)	0.19 °C/W	3.7 Pa (0.015 inH <sub>2</sub> O)	58.7 °C	0.10 °C/W	1.45 Pa (0.006 inH <sub>2</sub> O)	35.4 °C
2.0 m/s (~400 LFM)	0.16 °C/W	6.1 Pa (0.024 inH <sub>2</sub> O)	50.9 °C	0.10 °C/W	2.56 Pa (0.010 inH <sub>2</sub> O)	34.4 °C
2.5 m/s (~500 LFM)	0.15 °C/W	9.1 Pa (0.036 inH <sub>2</sub> O)	47.0 °C	0.09 °C/W	4.00 Pa (0.016 inH <sub>2</sub> O)	33.7 °C
3.0 m/s (~600 LFM)	0.14 °C/W	12.5 Pa (0.050 inH <sub>2</sub> O)	44.7 °C	0.09 °C/W	5.75 Pa (0.023 inH <sub>2</sub> O)	33.2 °C
3.5 m/s (~700 LFM)	0.13 °C/W	16.5 Pa (0.066 inH <sub>2</sub> O)	43.2 °C	0.09 °C/W	7.82 Pa (0.031 inH <sub>2</sub> O)	32.8 °C
4.0 m/s (~800 LFM)	0.13 °C/W	21.0 Pa (0.084 inH <sub>2</sub> O)	42.2 °C	0.09 °C/W	10.20 Pa (0.041 inH <sub>2</sub> O)	32.5 °C
4.5 m/s (~900 LFM)	0.13 °C/W	26.0 Pa (0.104 inH <sub>2</sub> O)	41.4 °C	0.09 °C/W	12.90 Pa (0.052 inH <sub>2</sub> O)	32.2 °C
5.0 m/s (~1,000 LFM)	0.12 °C/W	29.4 Pa (0.118 inH <sub>2</sub> O)	40.4 °C	0.09 °C/W	15.92 Pa (0.064 inH <sub>2</sub> O)	32.0 °C



**Рис. 2. Дослідний зразок автономної когенераційної системи електроживлення на базі біотеплогенератора**

## Висновки

1. Запропоновано спосіб розрахунку радіаторів охолодження за допомогою програмного забезпечення. Виходячи з отриманих результатів встановлено, що ефективніше охолодження відбувається при використанні голчастого радіатора.

2. Створено дослідну когенераційну установку, що працює на основі теплогенератора потужністю 20 кВт. У результаті отримано 18 Вт/год електричної потужності з двох послідовно з'єднаних термоелектрогенераторів, за температури на холодній стороні 50 °С, а на гарячій – 160 °С.

## Список літератури

1. Семенов Б. Ю. Силовая электроника: професійні рішення / Б. Ю. Семенов. – М. : СОЛОН-ПРЕСС, 2011. – 416 с.

2. Шостаковский П. Термоэлектрические источники альтернативного электропитания / П. Шостаковский // Компоненты и технологии. – 2010. – № 12. – С. 131–138.

3. Федорейко В. С. Використання термоелектричних модулів у теплогенераторних когенераційних системах / В. С. Федорейко, М. І. Рутило, І. Б. Луцик, І. Р. Загородній // Науковий вісник Національного гірничого університету, 2014. – Дніпропетровськ : НГУ. – № 6. – С. 111–116.

4. Розрахунок параметрів радіаторів [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://www.myheatsinks.com>.

## References

1. Semenov, B. Yu. (2011). Sylova elektronika: profesiyni rishennya [Power electronics: professional solutions]. M.: SOLON-PRESS, 416.

2. Shostakovskyy, P. (2010). Termoelektricheskiye istochniki al'ternativnogo elektropytaniya [Thermoelectric alternative sources of supply ]. Komponenty y tekhnolohyy, 12, 131–138.

3. Fedoreyko, V. S., Rutylo, M. I., Lutsyk, I. B., Zahorodniy, R. I. (2014). Vykorystannya termoelektrychnykh moduliv u teploheneratorykh koheneratsiynykh systemakh [The use of thermoelectric modules in heating generators for cogeneration systems]. Naukovyy visnyk Natsional'noho hirnychoho universytetu. Dnipropetrovs'k : NHU, 6, 111–116.

4. Rozrakhunok parametriv radiatoriv [Calculation of the radiator]. Available at: <http://www.myheatsinks.com>.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ РАДИАТОРА ОХЛАЖДЕНИЯ КОГЕНЕРАЦИОННОЙ УСТАНОВКИ БИОТЕПЛОГЕНЕРАТОРА

### Р. И. Загородний

**Аннотация.** *Описан расчет параметров радиатора для охлаждения когенерационной установки теплогенератора. Предложено применять игольчатые радиаторы. Приведены результаты экспериментальных исследований.*

**Ключевые слова:** *когенерационная установка, радиаторы охлаждения, термоэлектрические модули, игольчатый радиатор*

## STUDY PARAMETERS COOLER COGENERATION UNITS OF BIOHEATGENERATOR

R. Zagorodniy

**Abstract.** *This article describes the calculation parameters of the radiator to cool the CHP heat source. Needle apply research results radiators. The results of experimental studies are given.*

**Keywords:** *CHP, cooler, thermoelectric modules, needle radiator*

УДК 621.3

### РЕЗУЛЬТАТИ ВИПРОБУВАНЬ ВИХРОВОГО ТЕПЛОГЕНЕРАТОРА РТГА-37

Є. О. АНТИПОВ, кандидат технічних наук

П. Г. ОХРИМЕНКО, інженер

e-mail: ievgeniy\_antypov@ukr.net

**Анотація.** *Розглянуто можливість використання теплоти кінетичної енергії кавітаційних бульбашок повітря в момент їх руйнування для нагрівання води. Наведено результати експериментальних випробувань, гідравлічну схему і принцип роботи вихрового теплогенератора.*

**Ключові слова:** *кавітація, вихровий теплогенератор, енергія руйнування, нагрівання води*

Пошуки економічних та екологічно чистих джерел тепла, які не потребують спалювання органічного палива, привели до ідей використання для отримання енергії явищ внутрішнього тертя і кавітації рідини [1]. У таких апаратах, які називаються вихровими теплогенераторами (ТГ), значна частина тепла вивільнюється при кавітаційному кипінні рідини з подальшим руйнуванням бульбашок повітря і пари.

У роботі [2] досліджувався вихровий кавітаційний теплогенератор Ю. С. Потапова, який відпрацював не один сезон. Автори вимірювали витрачену електричну енергію та вироблену ТГ теплоту. Результати дослідження свідчать, що коефіцієнт перетворення енергії (КПЕ) досліджуваного апарата (ТПМ-5,5-1) не перевищує одиниці для всіх досліджених режимів. Визначення КПЕ трьома незалежними методами показало практично повну ідентичність отриманих результатів.