

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ**

ЗАГОРОДНІЙ РОМАН ІВАНОВИЧ

УДК 621.31; 621.362; 620.97

**АВТОНОМНА КОГЕНЕРАЦІЙНА СИСТЕМА ЕЛЕКТРОЖИВЛЕННЯ
НА БАЗІ БІОТЕПЛОГЕНЕРАТОРА**

05.09.03 – електротехнічні комплекси та системи

Автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Київ–2016

Дисертацією є рукопис

Робота виконана в Тернопільському національному педагогічному університеті імені Володимира Гнатюка Міністерства освіти і науки України

Науковий керівник доктор технічних наук, професор
Федорейко Валерій Степанович,
Тернопільський національний педагогічний
університет імені Володимира Гнатюка,
завідувач кафедри машинознавства та транспорту

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Щур Ігор Зенонович,
Національний університет «Львівська політехніка»,
професор кафедри електроприводу
та комп'ютеризованих електромеханічних систем

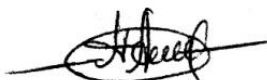
кандидат технічних наук, доцент
Шеліманова Олена Віталіївна,
Національний університет біоресурсів
і природокористування України,
доцент кафедри теплоенергетики

Захист відбудеться «06»вересня 2016 року о 10⁰⁰ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 26.004.07 у Національному університеті біоресурсів і природокористування України за адресою: 03041, м. Київ, вул. Генерала Родимцева, 19, навчальний корпус № 1, кімната 97

З дисертацією можна ознайомитися у бібліотеці Національного університету біоресурсів і природокористування України за адресою: 03041, м. Київ, вул. Героїв Оборони, 13, навчальний корпус № 4, кімната 41а

Автореферат розісланий «4»серпня 2016 року

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради



А. В. Петренко

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Основою розвитку базових галузей промисловості, що визначають прогрес суспільного виробництва є енергетика. У проекті енергетичної стратегії України до 2030 р. наголошується, що енергозбереження суттєво впливає на енергетичну безпеку держави, оскільки неефективне внутрішнє споживання паливно-енергетичних ресурсів потребує великих обсягів (понад 50 %) їх імпорту, що призводить до значної залежності від країн-експортерів. Разом із тим, потенціал енергозбереження в Україні становить понад 45 % обсягу споживання паливно-енергетичних ресурсів. Його реалізація дасть змогу зменшити проблеми зовнішньої енергетичної залежності.

Перспективним напрямом є впровадження когенераційних технологій. Їх широко використовують у малій енергетиці, що зумовлено такими перевагами: по-перше, тепло використовується безпосередньо у місці отримання, що набагато дешевше, ніж будівництво та експлуатація багатокілометрових теплотрас; по-друге, електроенергія використовується здебільшого у місці отримання без накладних витрат постачальників енергії. Крім того, зменшення теплових викидів в атмосферу сприяє розв'язанню екологічних проблем. Отже, можливість використання теплових відходів у рекупераційному виробничому процесі як джерела отримання електричної енергії для забезпечення автономного живлення теплогенератора є важливим завданням. Реалізувати це завдання можна за допомогою використання термоелектричних перетворювачів енергії.

Для створення енергоефективної системи термоелектричного генерування енергії шляхом використання тепла, що виводиться з димовими газами, необхідно провести дослідження щодо визначення реальних енергетичних параметрів за різних режимів навантаження. Адже суттєвим обмеженням переваг термоелектричного перетворення залишається низький коефіцієнт ефективності перетворення теплового потоку на електричну енергію: від 3 до 8 %. Зважаючи на це, актуальним завданням є визначення ефективності застосування термоелектричних модулів як складової когенераційної системи, як джерела акумуляції електроенергії з димових викидів теплогенераторів.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дослідження проведено на кафедрі машинознавства і транспорту Тернопільського національного педагогічного університету імені Володимира Гнатюка за пріоритетним напрямом розвитку науки і техніки України згідно з програмою Міністерства освіти і науки України за темою: «Енергоощадні інтелектуальні системи керування процесом приготування твердодіопаливної суміші для теплогенераторів», яка є державною науково-технічною тематикою (номер державної реєстрації 0113U000123), та темою: «Когенераційна термоелектрична автономна система на базі біогенератора» (номер державної реєстрації 0115U000192).

Мета та задачі дослідження. Мета дослідження – підвищити енергоефективність автономної когенераційної системи на базі твердопаливних

теплогенераторів шляхом приготування енергоефективної паливної суміші та застосування термоелектрогенеруючих модулів.

Для досягнення мети необхідно було вирішити такі задачі:

1. Проаналізувати особливості використання когенераційних установок середньої та малої потужності та визначити критерії підвищення їх енергетичних характеристик.

2. На основі аналізу закономірностей подачі твердобіопаливної суміші визначити критерії її ефективного горіння з метою поліпшення енергетичних характеристик теплогенераторів.

3. Дослідити енергетичні параметри термоелектричних модулів для оцінки ефективності використання їх у когенераційних системах.

4. Створити імітаційні моделі біотеплогенератора та термоелектричного перетворювача як складових комплексної моделі автономної когенераційної системи для визначення енергоефективних алгоритмів її функціонування.

5. Провести перевірку результатів теоретичних і експериментальних досліджень у виробничих умовах і визначити техніко-економічну ефективність отриманих результатів.

Об'єкт дослідження. Процес перетворення енергії теплових викидів теплогенератора на електричну енергію.

Предмет дослідження. Закономірності генерування електричної енергії термоелектричними перетворювачами у різних режимах роботи теплогенератора.

Методи дослідження. Теоретичні дослідження базувалися на теорії термоелектричного перетворення, законах термодинаміки, теорії теплопередачі та супроводжувалися розробленням математичної моделі, яка виконана із використанням теорії ідентифікації, теорії експерименту та комп'ютерного моделювання. Математичні моделі теплових процесів у теплогенераторі та термоелементах, із урахуванням впливу зовнішніх факторів, розроблено з використанням теорії теплових процесів.

Для створення комп'ютерних моделей застосовано теорію імітаційного моделювання та використано програмне середовище Matlab/Simulink; графічне представлення результатів моделювання здійснено засобами MS EXCEL та середовища Matlab.

У ході виконання роботи використано методики досліджень вітчизняних і зарубіжних фахівців, матеріали науково-технічних конференцій. Вірогідність отриманих результатів підтверджена результатами виробничих випробувань.

Наукова новизна одержаних результатів. Запропоновано принципово новий спосіб підвищення енергоефективності автономної когенераційної системи на базі твердопаливного біотеплогенератора шляхом застосування електрогенеруючого модуля, що дає змогу використовувати енергію теплових викидів теплогенератора з максимальною ефективністю.

Встановлено взаємозв'язок згенерованої електричної потужності ТЕГ з теплою димовивідних газів із урахуванням визначених залежностей теплотворної здатності твердого біопалива від виду деревини та її вологості.

Теоретично обґрунтовано і експериментально доведено можливість

підвищення ККД та максимального значення потужності термоелектричного модуля шляхом визначення вхідного струму на основі досліджень комплексної імітаційної моделі та виробничих випробувань.

Вперше визначено енергоефективні діапазони робочих температур термоелектричного перетворювача та величину опору споживача, які забезпечують його максимальну вихідну потужність з урахуванням середньої температури модуля та опору навантаження.

Практичне значення одержаних результатів. Одержані результати дають змогу забезпечити автономне електроживлення когенераційної системи за умови використання ТЕГ у режимі генерування електричної енергії у теплогенераторних установках.

На підставі проведених досліджень розроблено технологічний процес когенерації з використанням термоелектричних модулів для забезпечення автономних режимів роботи теплогенераторної установки, що працює на твердому біопаливі, який апробовано на виробничих потужностях НВО «Енергоощадні технології» у Тернопільській області.

Розроблено технічне рішення: удосконалено технологію генерування електричного струму за допомогою ТЕГ з димових теплових викидів твердопаливних теплогенераторів, що дало змогу підвищити енергоефективність усієї когенераційної установки.

Запропоновано спосіб подачі енергоефективної паливної суміші у теплогенератори, що дає змогу зменшити загальні витрати палива та гарантувати безпечну подачу палива у камеру горіння. Це дало змогу підвищити коефіцієнт корисної роботи твердопаливних теплогенераторів.

Розроблено автономну когенераційну систему електроживлення на базі біотеплогенератора, яку впроваджено на виробничих потужностях ТОВ «Українські технологічні системи» у Тернопільській області. Одержані результати довели, що застосування запропонованої технології дає змогу забезпечити автономність роботи теплогенератора, а також накопичувати згенеровану електроенергію, яку можна використовувати для освітлення, заряджання засобів зв'язку та телекомунікацій на об'єктах без центрального електропостачання.

Результати досліджень використовують у навчальному процесі кафедри машинознавства та транспорту Тернопільського національного педагогічного університету імені Володимира Гнатюка.

Особистий внесок здобувача. Здобувачем безпосередньо розроблено моделі та алгоритми керування процесом приготування твердобіопаливної суміші для теплогенератора; запропоновано метод використання термоелектричних модулів у теплогенераторах, який дасть змогу генерувати електроенергію із димових викидів; створено імітаційну модель термоелектричного елемента, яка дала змогу визначити рівень впливу різниці температур поверхонь термоелектричного модуля на електрорушійну силу та коефіцієнт корисної дії. Розроблено експериментальний взірець когенераційної установки на основі застосування термоелектричного модуля для резервного живлення системи керування теплогенератора. Проведено експериментальні

дослідження, які дали змогу визначити залежності ККД термоелектричного перетворювача від струму навантаження і градієнта температур.

Апробація результатів дисертації. Основні положення дослідження представлено, обговорено та схвалено на: I науково-технічній конференції факультету переробних і харчових виробництв Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя (м. Тернопіль, 2011 р.); VI Міжнародній науково-технічній конференції «Світлотехніка й електроенергетика: історія, проблеми, перспективи» (м. Тернопіль, 2012 р.); II Міжнародній науково-практичній конференції «Енергетика та комп'ютерно-інформаційні технології» (м. Київ, 2013 р.); Міжнародній науково-технічній конференції «Проблеми сучасної енергетики і автоматики в системі природокористування» (м. Київ, 2013 р.); II Міжнародній науково-практичній конференції молодих вчених «Відновлювальна енергетика, нові автоматизовані електротехнології в біотехнічних системах АПК» (м. Київ, 2014 р.); V Міжнародній науково-технічній конференції «Світлотехніка й електроенергетика: історія, проблеми, перспективи» (м. Тернопіль, 2015 р.); III Міжнародній науково-практичній конференції «Проблеми та перспективи розвитку енергетики, електротехнологій та автоматики в АПК» (м. Київ, 2015 р.).

Публікації. Основні результати дисертаційної роботи викладено у 15 наукових працях, із них 3 статті у наукових фахових виданнях України, 3 статті у наукових фахових виданнях України, включених до міжнародних наукометричних баз даних, патент України на корисну модель, 5 тез наукових доповідей та 3 депоновані наукові роботи.

Структура та обсяг дисертації. Повний обсяг дисертації становить 154 сторінки комп'ютерного тексту і складається зі вступу, п'яти розділів, висновків, списку використаних джерел, що містить 135 найменувань, із них 21 латиницею та 27 додатків. Дисертація містить 53 рисунки та 7 таблиць.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** обґрунтовано актуальність теми дисертаційного дослідження, розкрито сутність наукового завдання, сформульовано мету і задачі, необхідні для її досягнення, наукову новизну та практичне значення роботи.

У першому розділі «**Стан проблеми і задачі дослідження**» за аналізом літературних джерел обґрунтовано перспективність впровадження автономних когенераційних систем для розв'язання задачі ефективного забезпечення спільного вироблення електричної та теплової енергії. Наведено порівняння діючих когенераційних установок за показниками довговічності, ремонтпридатності та економічності, яке підтверджує доцільність використання теплогенераторів, що працюють на твердому біопаливі.

Аналіз особливостей використання когенераційних установок у малій енергетиці свідчить, що нині немає рішення ряду конкретних проблем, які постають у зв'язку з комбінованим виробленням декількох енергетичних продуктів з одного і того ж палива. Розгляд проблем, пов'язаних із

застосуванням схем рекуперації для роботи когенераційних установок дав змогу визначити, що перспективним напрямом є використання термоелектричних генераторів. Основною перевагою їх застосування є малі габаритні розміри, практично необмежений ресурс роботи, а висока надійність є визначальною у ході їх використання у приладобудуванні та електроніці. Однак потребує більш детального дослідження можливість підвищення коефіцієнта корисної дії електрогенераторного модуля когенераційної системи.

Вивченню процесу генерування електричної енергії за допомогою ТЕГ присвячені роботатаких учених: А. Ф. Іоффе, Л. І. Анатичука, А. Г. Самойловича, Л. Коренблата, Д. М. Фреїка, Дж. Голдсмита. Аналіз наукових праць дав змогу визначити, що ТЕГ можна використовувати вже за мінімальних перепадів температур. Використання невеликих різниць температур стає актуальним, зважаючи на те, що до 90 % теплової енергії виділяється на промислових об'єктах та устаткуванні за температури поверхонь до 300 °С.

З метою визначення факторів, що впливають на енергоефективність когенераційних систем проаналізовано критерії ефективного функціонування біотеплогенератора. Аналіз наукових праць видатних учених, зокрема В. О. Дубровіна, М. О. Корчемного, І. П. Масло, В. А. Двойнишникова дав змогу визначити шляхи забезпечення оптимальних режимів роботи теплогенераторів шляхом керування процесом горіння твердого біопалива.

Енергоощадність технології спалювання у біотеплогенераторах значною мірою залежить від виду палива, яке використовується, із урахуванням його щільності, зольності та вологості. Крім того, важливою та неодмінною умовою горіння у теплогенераторі є достатня кількість кисню. Отже, актуальними є дослідження режимів роботи біотеплогенератора для визначення способу безпечної подачі енергоефективної паливної суміші у камеру горіння.

Аналіз втрат енергії у процесі функціонування когенераційної установки підтвердив необхідність дослідження енергоефективних діапазонів робочих температур електрогенеруючого модуля з метою визначення енергоефективних алгоритмів функціонування системи.

Отже, для розв'язання завдання забезпечення автономності електроживлення когенераційної системи на базі біотеплогенератора необхідним є розв'язання задач моделювання та проведення експериментальних досліджень функціонування як термоелектрогенераторного модуля, так і дослідного зразка когенераційної системи електроживлення з різними режимами навантаження.

Дисертаційна робота виконана на кафедрі машинознавства та транспорту Тернопільського національного педагогічного університету імені Володимира Гнатюка протягом 2011–2015 рр.

У другому розділі **«Дослідження способів підвищення енергоефективності автономної когенераційної системи теплогенератора з інтегрованою термоелектричною панеллю»** проаналізовано теоретичні передумови реалізації енергоефективної когенераційної установки на основі поетапного розгляду шляхів підвищення ефективності усього технологічного

процесу:

- процесу горіння у топці котла для збільшення теплового ККД;
- втрат енергії з відхідними газами для визначення можливостей їх використання як джерела для електрогенеруючого модуля;
- процесу термоелектричних перетворень, що відбувається у електрогенераторному модулі для визначення можливості збільшення його ККД.

Ефективність використання палива у теплогенераторі визначається двома факторами: повнотою процесу спалювання палива і глибиною охолодження продуктів згорання. Більша частина теплоти, яка подається у теплогенератор, сприймається поверхнями нагрівання і передається робочому тілу. Завдяки цій теплоті відбувається корисне нагрівання теплоносія.

Загалом рівняння теплового балансу теплогенератора можна записати так:

$$Q_3 = Q_{кор} + Q_{втрат}, \quad (1)$$

де Q_3 – загальна теплота теплогенератора, кДж;

$Q_{кор}$ – корисна теплота, кДж;

$Q_{втрат}$ – теплота втрат, кДж.

Якщо ж теплогенераторну установку доповнити термоелектрогенераторною панеллю на димовідводах, тоді частина потужності теплових втрат $Q_{втрат}$ використовується як джерело електричної енергії $P_{ТЕП}$ (рис. 1), решта – неутилізовані втрати $Q_{неут. втрат}$:

$$Q_{втрат} = P_{ТЕП} + Q_{неут. втрат} \quad (2)$$

У свою чергу $Q_{втрат}$ є функцією від загальної теплової потужності теплогенератора:

$$Q_{втрат} = Q_3 - Q_3 \cdot \eta_{тг} = (1 - \eta_{тг}) \cdot Q_{пал}^H \cdot m, \quad (3)$$

де $\eta_{тг}$ – коефіцієнт корисної дії теплогенератора;

$Q_{пал}^H$ – теплотворна здатність палива;

m – маса палива.

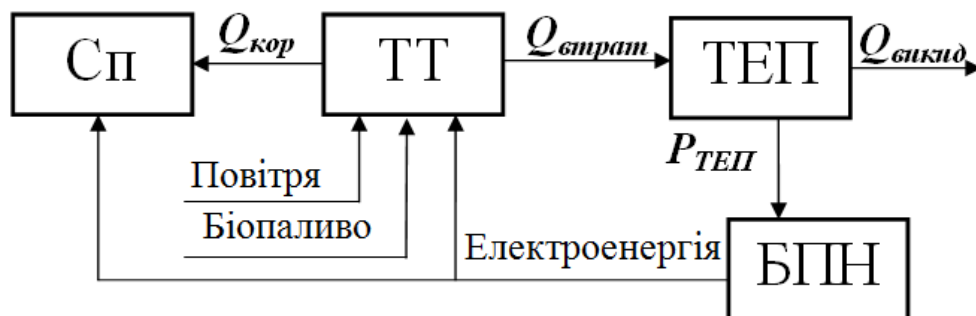


Рис. 1. Структурна схема функціонування когенераційної системи на базі твердопаливного теплогенератора: Сп – споживач; ТТ – твердопаливний теплогенератор; ТЕП – термоелектрична панель; БПН – блок перетворення напруги.

Визначено аналітичні залежності теплотворної здатності твердого біопалива від виду деревини та її вологості для порід деревини, що найбільш поширені на теренах України (для дуба (q_d), берези (q_b), сосни (q_c), тополі (q_m):

$$\begin{cases} q_o(w) = 3920 - 5613 \cdot w \\ q_{\bar{o}}(w) = 3145 - 4504 \cdot w \\ q_c(w) = 2516 - 3605 \cdot w \\ q_m(w) = 1936 - 2772 \cdot w \end{cases} \quad (4)$$

Зважаючи на наведене вище, потужність, яку можна використати як джерело електричної енергії для термоелектрогенераторної панелі визначається так:

$$P_{ТЕП} = (1 - \eta_{ТГ}) \cdot Q_{пал}^H \cdot m - Q_{неут. \text{ втрат}}, \quad (5)$$

де $Q_{неут. \text{ втрат}}$ – неутилізовані втрати теплогенератора.

Отже, збільшення енергетичної ефективності технологічного процесу здійснюється завдяки збільшенню загального ККД перетворення і передачі енергії технологічного обладнання, що забезпечує технологічний процес. Якщо ж враховувати, що ККД теплогенераторів, які працюють на твердому біопаливі становить до 85 %, то встановлення електрогенеруючої панелі дає змогу збільшити загальний ККД, використавши залишкову енергію.

Зазвичай термоелектричне обладнання, яке використовується для рекуперації відпрацьованого тепла змінює температурний режим теплогенератора. У такому випадку доцільно розміщувати термоелектричних модулів на димовідводах, що дасть змогу не тільки акумулювати електроенергію, а й зменшити теплові викиди в атмосферу.

Для когенераційної системи, оснащеної ТЕГ, втрати теплоти з відхідними газами $Q_{в.вг}$ зменшуються завдяки частковому відбору тепла димових газів як джерела генерування електроенергії:

$$Q_{в.вг} = P_{ТЕП} + Q_{в.вг}^1. \quad (6)$$

Тоді рівняння теплового балансу когенераційної системи можна представити так:

$$Q_3 = Q_{кор} + P_{ТЕП} + Q_{в.вг}^1 + Q_{в.нз.х} + Q_{в.нз.м} + Q_{в.ст.к} + Q_{в.шлак}, \quad (7)$$

де Q_3 – загальна теплота на 1 кг палива, кДж/кг;

$Q_{кор}$ – корисно використана теплота, кДж/кг;

$Q_{в.вг}^1$ – втрати теплоти з відхідними газами, кДж/кг;

$Q_{в.нз.х}$ – втрати теплоти від хімічної неповноти згорання, кДж/кг;

$Q_{в.нз.м}$ – втрати теплоти від механічної неповноти згорання, кДж/кг;

$Q_{в.ст.к}$ – втрати теплоти удокілля через стінки теплогенератора, кДж/кг;

$Q_{в.шлак}$ – втрати теплоти з фізичною теплотою шлаку, кДж/кг.

Якщо знехтувати теплотою палива та золи і врахувати зменшення об'єму газів через втрати від механічної неповноти згорання, то втрати теплоти з відхідними газами визначаються за такою формулою:

$$q_{в.вг} = \frac{(a_{\Sigma} \cdot L'_0 + 1) \cdot c_p^r \cdot t_r - a_{\Sigma} \cdot L'_0 \cdot c_p^B \cdot t_{п}}{Q_{пал}^H}, \quad (8)$$

де a_{Σ} – сумарний коефіцієнт надлишку повітря;

L'_0 – теоретична кількість повітря, необхідного для повного згорання 1 кг палива, кг;

c_p^r, c_p^b – середня питома масова ізобарна теплоємність продуктів горіння і повітря, кДж/(кг К);

t_2 – температура відхідних газів, °С;

t_n – температура повітря довкілля, °С;

$Q_{нал}^H$ – нижча робоча теплота згорання палива, кДж/кг.

Абсолютна кількість теплоти ($Q_{в.вг}$), яка виходить з димовими газами, кДж/год, визначається за такою формулою:

$$Q_{в.вг} = q_{в.вг} \cdot G_{в.вг} \cdot Q_{нал}^H \quad (9)$$

Розхід димових газів за годину $G_{в.вг}$, кг/год, визначається так:

$$G_{в.вг} = G_{пов} + G_{пал}, \quad (10)$$

де $G_{пов}$ – годинний розхід (витрати) повітря, кг/год, що визначається через сумарний коефіцієнт надлишку повітря і годинний розхід палива:

$$G_{пов} = 14,32 \cdot \alpha_{\Sigma} \cdot G_{нал}. \quad (11)$$

Тоді втрати теплоти $Q_{в.вг}$, яку потенційно можна використати як джерело генерування електричної енергії для ТЕГ становить:

$$Q_{в.вг} = q_{в.вг} \cdot G_{нал} (1 + 14,32 \cdot \alpha_{\Sigma}) \cdot Q_{нал}^H. \quad (12)$$

Отже, зниження втрат теплоти з димовими газами можливе завдяки зменшенню коефіцієнта надлишку повітря у топці α_T . Також необхідно зважати на те, що для ефективного перебігу процесу горіння твердого біопалива у природному вигляді величина α має перебувати у межах 1,4–1,6. Діапазон втрат теплоти з відхідними газами становить 8–12 %.

Крім того, у процесі проходження димових газів димовідводом їх теплота зменшується, що залежить від параметрів труби, матеріалів труби та напору газового потоку. Втрати теплоти пов'язані також із теплопередачею через стінку труби. Це обумовлює необхідність урахування наведених параметрів для визначення енергоефективних режимів роботи когенераційної системи, які забезпечать автономність її електроживлення.

Електрична потужність $P_{ТЕП}$, що виробляється генераторним модулем визначається, згідно із законом збереження енергії, за різницею теплових потоків його холодного Q_x та гарячого Q_2 боку.

$$P_{ТЕП} = Q_2 - Q_x. \quad (13)$$

Потужність, що відводиться у зовнішнє коло прямопропорційна квадрату різниці температур:

$$P = I^2 \cdot R_n = \frac{(2N \cdot S)^2 \cdot \Delta T^2}{(R + R_n)^2} R_n. \quad (14)$$

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.

Згідно з теорією термоелектричного перетворення кількість теплоти, що використовується гарячим спаєм термоелемента, Q_2 складається з таких частин:

– тепло Пельтье, поглинене гарячим спаєм:

$$Q_{\pi_r} = \pi_{1,2}(T_r)I \quad (15)$$

– тепло, що втрачається внаслідок теплопровідності матеріалів ТЕГ;

$$Q_K = k(T_2 - T_x), \quad (16)$$

де k – коефіцієнт теплопровідності;

– половина тепла Томсона, що виділяється в обох вітках ТЕГ;

$$\frac{1}{2}Q_\tau = \frac{1}{2}I \int_{T_x}^{T_r} (\tau_2 - \tau_1) dT \quad (17)$$

– 1/2 тепла Джоуля, що виділяється у термоелементі при струмі I і опорі r :

$$1/2Q_d = 1/2 I^2 r \quad (18)$$

Кількість теплоти, що надходить до гарячих спаїв:

$$Q_r = P + Q_K + \frac{Q_\tau}{2} - \frac{Q_d}{2} = \pi_{1,2}(T_r)I + k(T_r - T_x) + \frac{1}{2}I \int_{T_x}^{T_r} (\tau_2 - \tau_1) dT - \frac{I^2 r}{2}. \quad (19)$$

Аналогічно кількість тепла, що відводиться від холодних спаїв ТЕГ:

$$Q_x = \pi_{1,2}(T_x)I + k(T_2 - T_x) + \frac{I^2 r}{2} - \frac{1}{2}I \int_{T_x}^{T_2} (\tau_2 - \tau_1) dT. \quad (20)$$

Тоді корисна електрична потужність може бути визначена за таким співвідношенням:

$$P = Q_2 - Q_x = I \left[\pi_{1,2}(T_2) - \pi_{1,2}(T_x) + \int_{T_x}^{T_2} (\tau_2 - \tau_1) dT - Ir \right]. \quad (21)$$

Визначені залежності дають змогу встановити взаємозв'язок корисної електричної потужності ТЕГ від різниці температур на його холодному і гарячому боці.

У третьому розділі «**Визначення енергоефективних алгоритмів функціонування автономної когенераційної системи засобами імітаційного моделювання**» наведено результати імітаційного моделювання, за допомогою якого проаналізовано та оптимізовано параметри функціонування когенераційної системи.

Для визначення енергоефективних алгоритмів функціонування автономної когенераційної системи розроблено комплексну імітаційну модель, яка складається із підсистем, що імітують процеси у термоелектричному перетворювачі, модуля біотеплогенератора, системи керування та інших модулів, які є складовими когенераційної установки.

За допомогою Matlab/Simulink розроблено імітаційну модель термоелектричного модуля (рис. 2.а), яка є підсистемою моделі дослідної установки (рис. 2.б). Створена підсистема враховує теплопровідність стінок, їх площу, товщину, теплоємність, внутрішній опір та контактну різницю потенціалів на межі гарячої та холодної поверхонь, яка становить приблизно 0,09 В на 1 °С. Внутрішній опір елемента для нормальних умов (20 °С) становить 1,7 Ом.

Навантаженням термоелектричного перетворювача є резистор, величина

опору якого, для досягнення максимальної вихідної потужності була вибрана приблизно 4,5 Ом з урахуванням температурного коефіцієнта зміни внутрішнього опору та зворотного ефекту Пельтьє.

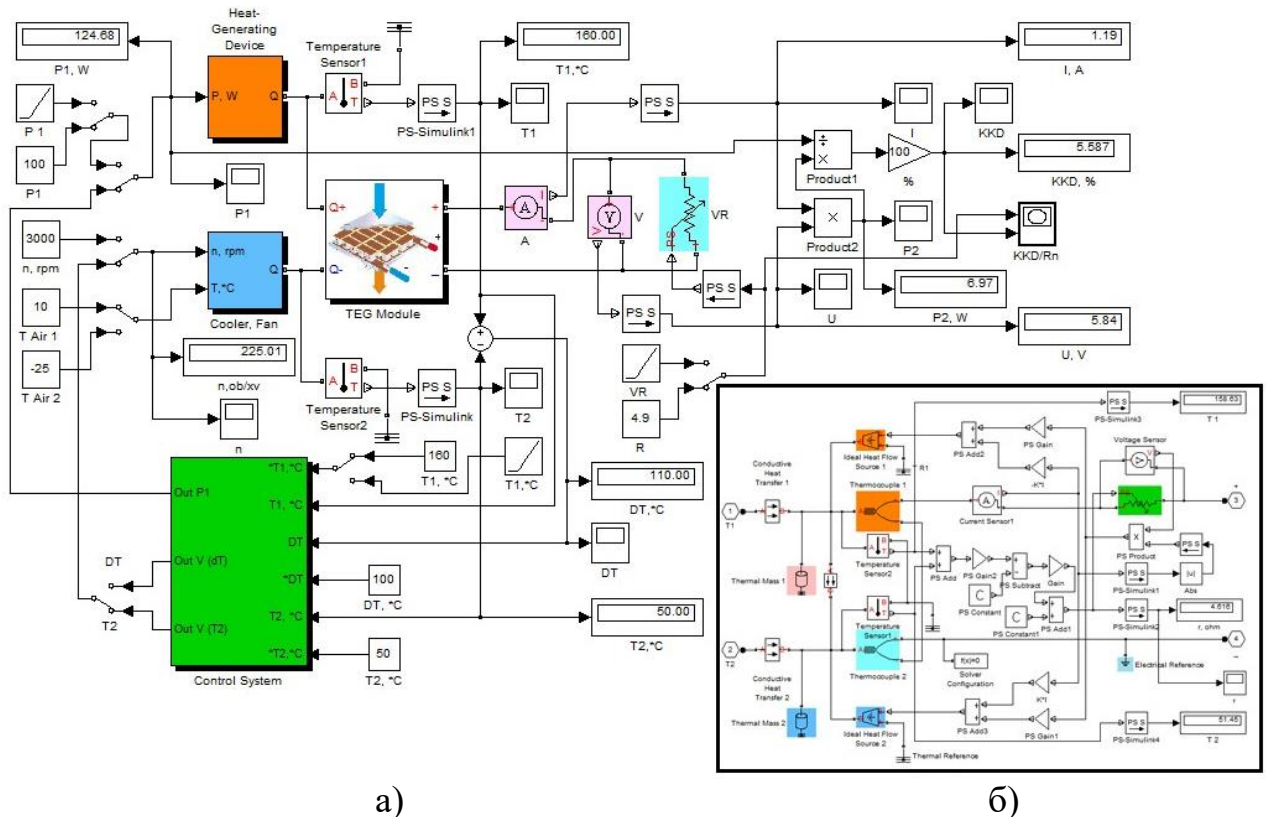


Рис. 2. Імітаційна модель дослідної установки на базі термоелектричного елемента: а) загальний вигляд; б) структура імітаційної моделі термоелектричного перетворювача.

Порівняння отриманих у ході імітаційного моделювання результатів з експериментальними даними, підтвердили достовірність розробленої моделі. Це дало змогу достовірно апроксимувати 0,9 встановити аналітичну залежність ЕРС від різниці температур на поверхнях термоелектричного елемента:

$$U(\Delta T) = 0,104 \cdot \Delta T - \gamma \Delta T, \quad (22)$$

де γ – введений нами коефіцієнт нелінійності термоелектричного перетворення.

Для знаходження максимального ККД термоелектричних модулів досліджено опір навантаження (1) та споживаного струму (2) для температур на гарячій поверхні 90 °С (а) і 150 °С (б) з дотриманням їх сталої різниці: $\Delta T = 100$ °С (рис. 3).

У момент досягнення теплового балансу у системі, одержано такі результати: для режиму роботи без навантаження із максимально допустимою різницею температур поверхонь термоелектричного елемента (100 °С) електрорушійна сила становила 8,7 В; у режимі роботи з навантаженням (4,5 Ом) величина вихідної потужності досягла 7,1 Вт, ККД термоперетворювача – 5,4 %.

Отже, зважаючи на результати моделювання (рис. 4, 5), для отримання

максимальної ефективності показників ККД, доцільно підтримувати мінімально можливу середню температуру модуля та опір навантаження у діапазоні 2–10 Ом.

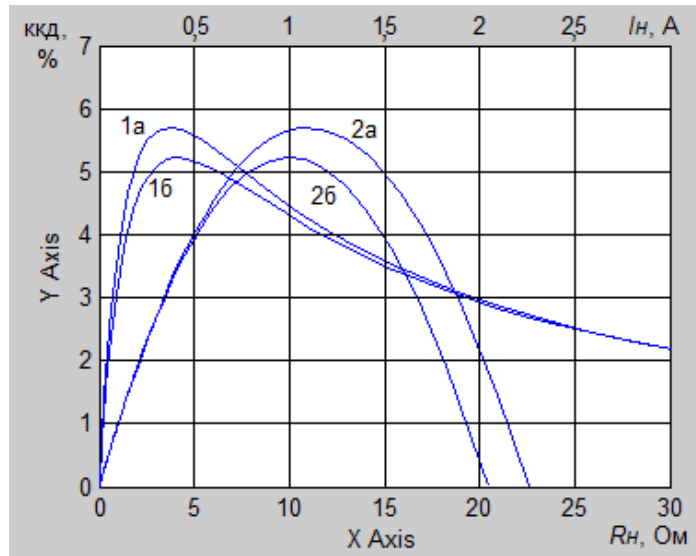


Рис. 3. Залежність коефіцієнта корисної дії термоелектричного модуля від струму та опору навантаження

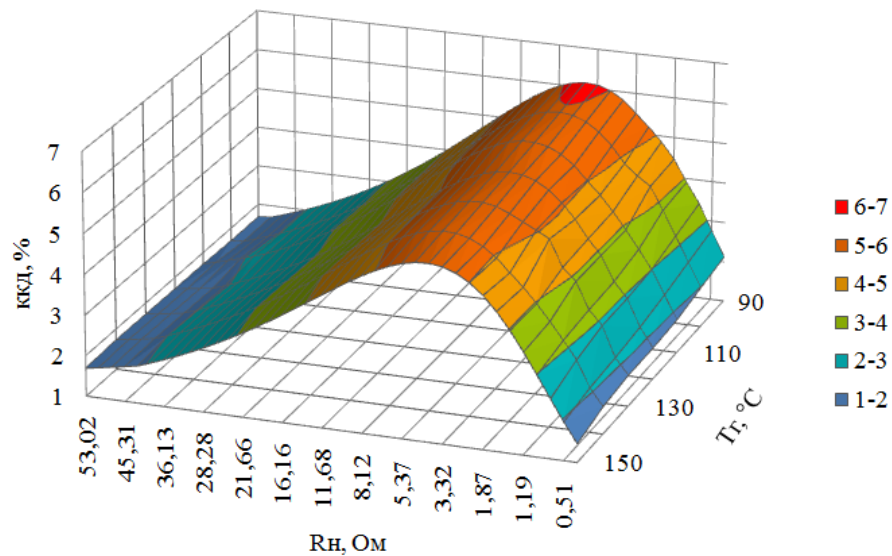


Рис. 4. Залежність коефіцієнта корисної дії ТЕГ від опору навантаження (R_n) та температури на гарячому боці (T_g) при сталій $\Delta T = 100$ °C

З метою збільшення потужності термомодуля, для дотримання максимально допустимого значення ΔT , зростання можна досягти зменшуючи середнє значення температур T_c . Тобто ефективність модуля зростає при зменшенні його середньої температури.

$$\Delta T = \frac{U + I \left(R_0 + \alpha \left(\frac{T_1 + T_2}{2} - T_0 \right) \right)}{k}. \quad (23)$$

За таких умов струм навантаження, який забезпечує максимальну вихідну потужність, визначається за залежністю виходячи з навантажувальної характеристики ТЕГ:

$$I = \frac{k\Delta T}{2(R_0 + \alpha(T_c - T_0))}, \quad (24)$$

де T_0 – температура термоелектричного модуля за нормальних умов (20 °С);
 R_0 – опір термоелектричного модуля за нормальних умов (20 °С).

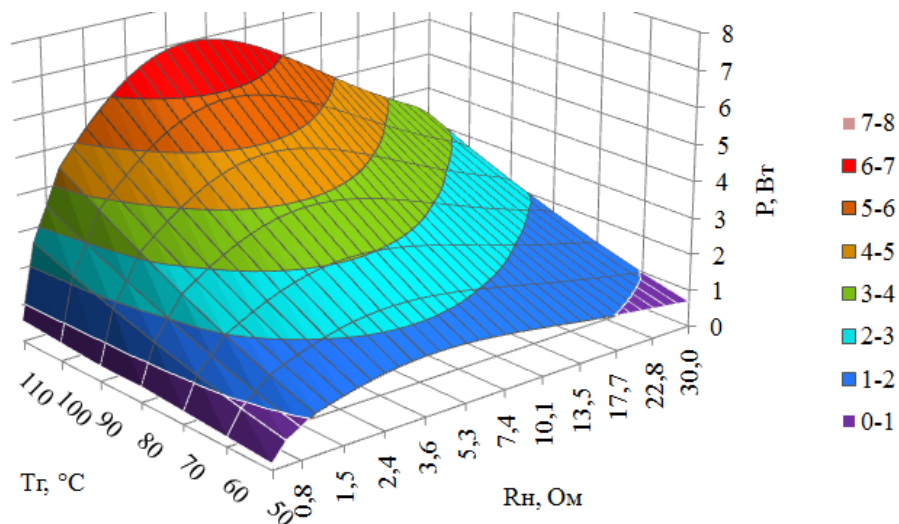


Рис. 5. Залежність вихідної потужності ТЕГ від різниці температур та опору навантаження

Залежність (24) дала змогу реалізувати алгоритм розрахунку вхідного споживаного струму термоелемента з метою встановлення максимальної потужності у допустимому температурному діапазоні ΔT : 50–110 °С. Алгоритм реалізовано окремим модулем системи керування перетворювача напруги зарядного пристрою батареї.

З метою оцінки функціонування термоелектричного модуля як складової когенераційної системи розроблено комплексну Simulink-модель, яка дає змогу відслідковувати взаємозв'язок параметрів електрогенеруючого модуля та теплогенератора.

Використовуючи імітаційні моделі як окремі блоки, а також деякі стандартні блоки із загальної бібліотеки Simulink та Simscape, під категорій Electrical, Physical Signals, Thermal сконструйовано імітаційну Simulink-модель когенераційної установки, структуру якої складають (рис. 6): імітаційна модель електрогенераторної панелі (28×TEG Module); імітаційна модель біокотла (Therlogenerator); підсистема охолодження з вентилятором (Vent_2); підсистема шнека та вентилятора для забезпечення процесу горіння (Shnek, Vent_1); підсистеми перетворювачів (3f-PWM1, 3f-PWM2, 3f-PWM3); підсистема контролю (Control System); підсистема інвертора (Inverter); батарея живлення (Bat); пристрої вимірювання вхідних та вихідних параметрів (Scope, Display); навантаження з комутаційним пристроєм (Load).

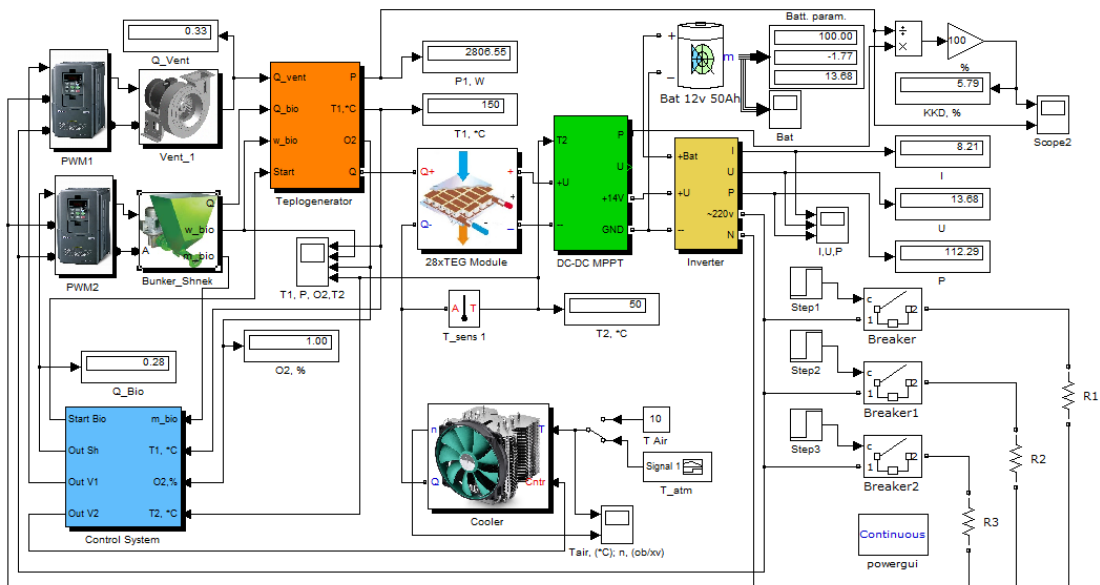


Рис. 6. Структура імітаційної Simulink-моделі когенераційної установки

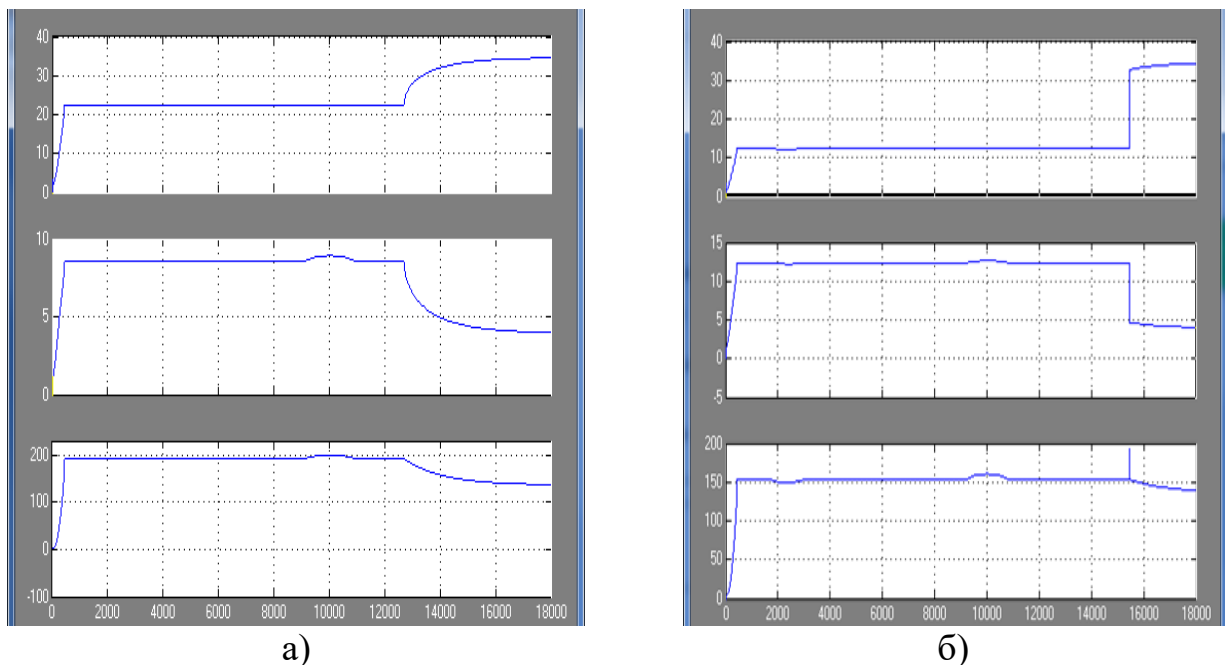


Рис. 7. Графіки перехідних процесів енергетичних параметрів на виході ТЕГ (U , I , P) з увімкненим (а) та вимкненим (б) алгоритмом задання максимальної потужності

Результати імітаційного моделювання функціонування автономної когенераційної системи електроживлення на виході ТЕГ (U , I , P) з увімкненим та вимкненим алгоритмом задання максимальної потужності наведено на рис. 7.

Порівняння результатів моделювання дає змогу стверджувати про доцільність застосування розробленого алгоритму, що дасть змогу забезпечити збільшення вихідної потужності на 25 %.

У четвертому розділі «Експериментальні дослідження когенераційної установки» подано результати експериментальних досліджень, теоретичні обґрунтування яких наведено у попередніх розділах.

З метою верифікації встановлених залежностей генерованої напруги і ККД термоелемента від опору навантаження та температурних режимів роботи розроблено дослідну установку, схему якої та загальний вигляд наведено на рис. 8.

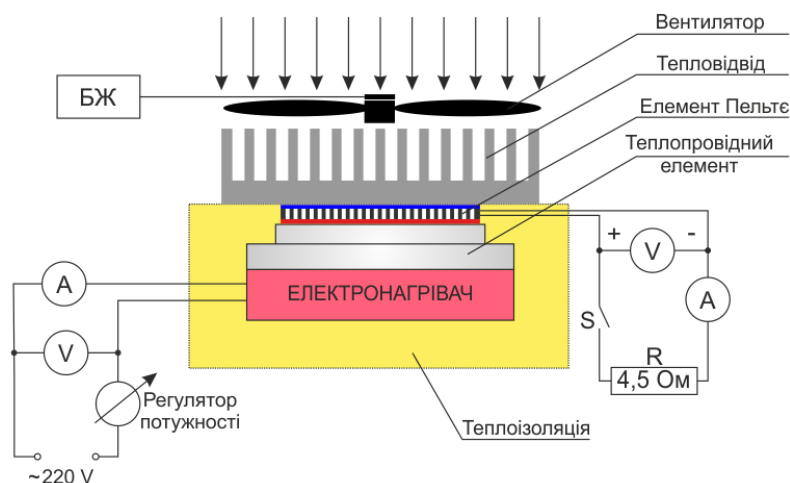


Рис. 8. Схема фізичної моделі дослідної установки

Методика проведення експерименту така:

- вимірювання підведеної потужності для нагрівання;
- фіксування значень температури на гарячому і холодному боці термоелемента за активного і пасивного охолодження;
- вимірювання значень згенерованої напруги ТЕГ при холостому ході, при навантаженні у 4,5 Ом та при короткому замиканні.

Результати проведених експериментів (рис. 9 а), відтворюють залежності коефіцієнта корисної дії ТЕГ від опору навантаження (R_n) та температури на гарячому боці (T_g), та 9 б, залежностей вихідної потужності ТЕГ від опору навантаження (R_n) для різних ΔT .

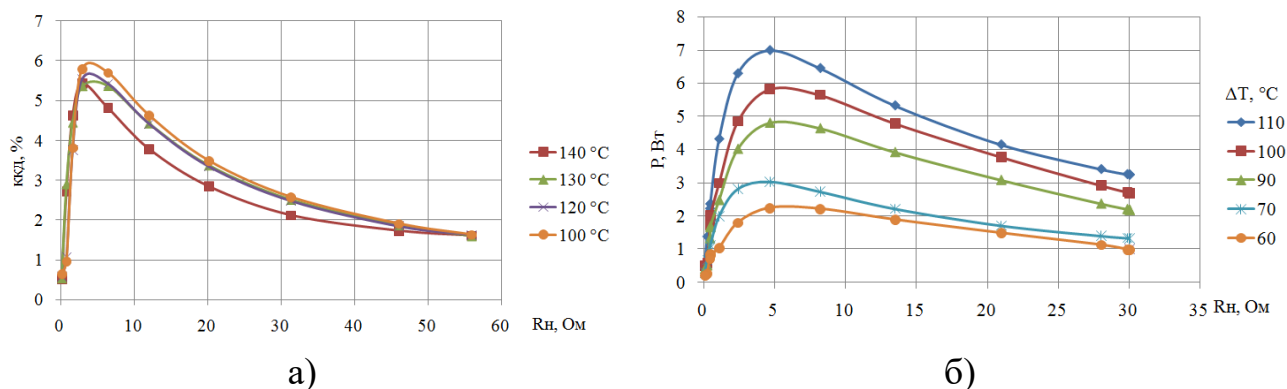


Рис. 9. Результати експериментальних досліджень залежностей: а) – коефіцієнта корисної дії ТЕГ від опору навантаження (R_n) та температури на гарячому боці (T_g) при сталій $\Delta T = 100$ °C; б) – вихідної потужності ТЕГ від опору навантаження (R_n) для різних ΔT .

Реалізацію схеми когенерації з термоелектричною панеллю наведено на рис. 10. Автономна теплогенеруюча когенераційна установка працює так: процес горіння технологічної біомаси у камері 1 відбувається з одночасним нагнітанням повітря у теплообміннику 2 за допомогою вентилятора 4, що живиться від акумуляторної батареї 11. У момент виходу котла на номінальну потужність, електрогенеруючий блок 10 генерує енергію, що використовується на заряджання акумулятора 11 та подається на інвертор 12, який видає напругу для живлення вентилятора 4 і на вихід для споживача 14. На стінці димаря у зоні встановлення електрогенеруючого блока 10 закріплений термодавач 13, який разом із АСК 11 контролює температуру гарячого боку термоелементів і не допускає її перевищення понад 150 °С шляхом зміни положення дросельної заслінки 7, якою управляє АСК 11.

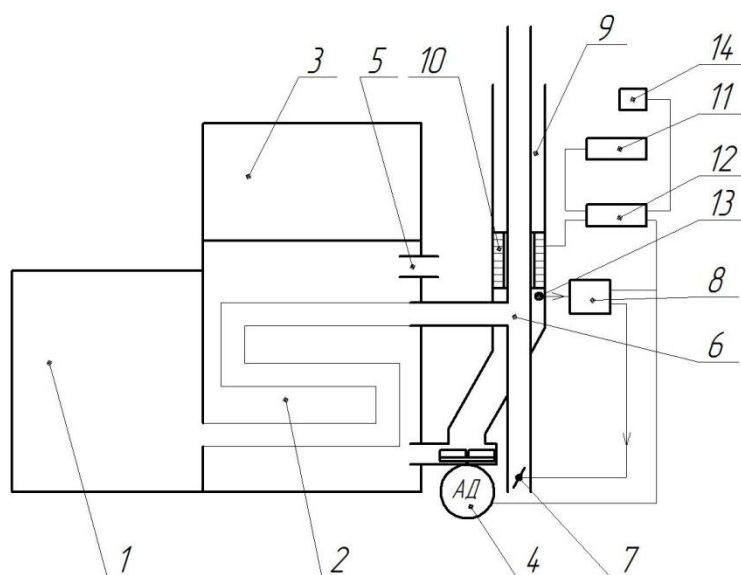


Рис. 10. Схема когенераційної системи на основі твердопаливного біотеплогенератора: 1 – камера горіння; 2 – теплообмінник; 3 – теплогідро-акумулятор; 4 – вентилятор подачі повітря у теплообмінник; 5 – вихід теплоносія; 6 – димовивідна труба; 7 – дросельна заслінка; 8 – автоматична система керування (АСК); 9 – контур охолодження; 10 – електрогенеруючий блок; 11 – акумуляторна батарея; 12 – інвертор; 13 – датчик температури; 14 – вихід на споживача.

Електричну схему модуля перетворювача напруги із розробленим алгоритмом задання максимальної потужності наведено на рис. 11.

Схема перетворення реалізована стандартним схемним рішенням на базі польового транзистора, за заданим у контролері алгоритмом і виконує функції підвищення або пониження напруги залежно від величини вхідної напруги, яка надходить з ТЕГ модуля.

На виході з ТЕГ модуля отримано напругу у діапазоні 3–45 В, та струм до 8,5 А. На виході з перетворювача напруги (модуля заряджання батареї) зафіксували вихідну напругу на навантаженні 14 В і струм до 15 А (рис. 12).

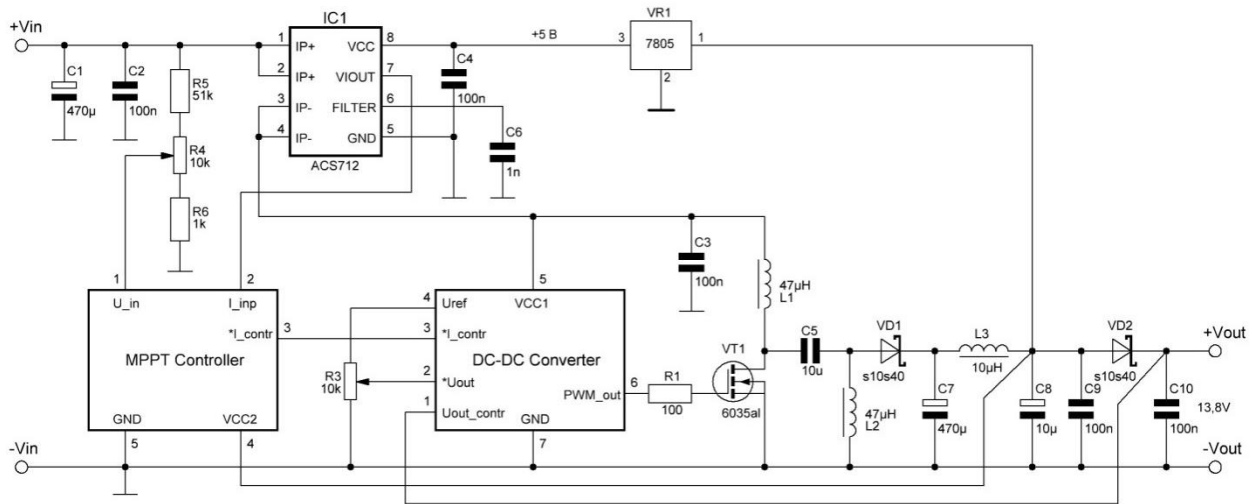


Рис. 11. Електрична схема модуля перетворювача напруги із розробленим алгоритмом задання максимальної потужності

Створена лабораторна установка з електрогенеруючим блоком ТЕГ, із розробленим алгоритмом задання максимальної потужності, в результаті згенерувала електричну енергію потужністю 198 Вт.

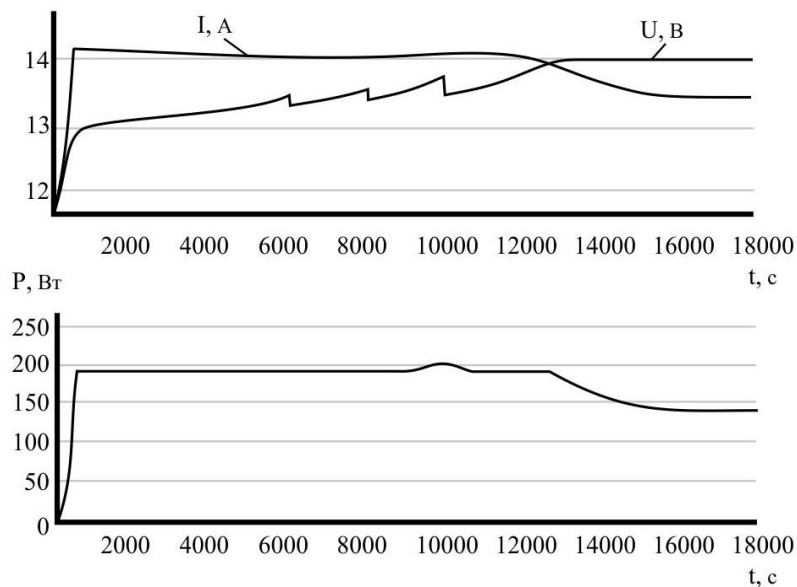


Рис. 12. Діаграма зміни енергетичних параметрів на виході перетворювача напруги (U_2 , I_2 , P_2) у режимі заряджання батареї та споживання енергії

Дослідний зразок термоелектричного модуля встановлено на теплогенераторі потужністю 20 кВт, що працює на твердому біопаливі (рис. 13, 14).

Апробація запропонованого способу когенерації, що здійснювалася на виробничих потужностях НВО «Енергоощадні технології», підтвердила доцільність його використання для забезпечення автономного електроживлення біотеплогенератора.



Рис. 13. Дослідний зразок автономної когенераційної системи електроживлення на базі біотеплогенератора.

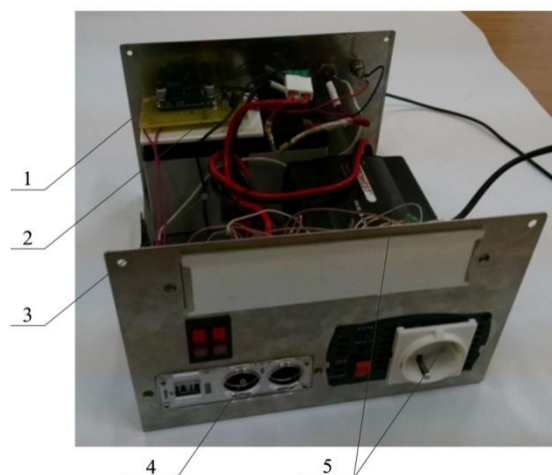


Рис. 14. Загальний вигляд модуля акумулювання електроенергії та перетворення напруги дослідної установки: 1 – DC-DC конвертор 4...50 В/14В; 2 – MPPT Controller; 3 – акумуляторна батарея; 4 – AC-DC конвертор 12В/220В; 5 – DC-DC конвертор 12В/5В.

У п'ятому розділі **«Техніко-економічна ефективність результатів досліджень»** викладено техніко-економічну ефективність результатів дослідження. Виробнича перевірка проводилася науково-дослідною лабораторією «Енергетичний менеджмент» при Тернопільському національному педагогічному університеті імені Володимира Гнатюка протягом 2015 року.

У ході експериментальних випробувань розроблений когенераційний комплекс продемонстрував задовільну роботу на технологічному обладнанні підприємства.

Проведено перевірку запропонованого способу дозування компонентів твердого біопалива і повітря на основі аналізу складу димових газів із урахуванням вологості і виду деревини. Дослідження свідчать, що похибка ідентифікації системою керування концентрації кисню у димових газах не перевищує 5 %. Як компоненти біопалива використовувалися подрібнена солома вологістю 25–37 % та тирса різних порід деревини вологістю 15–35 %.

Здійснено перевірку функціонування електрогенеруючого модуля за різними тепловими режимами роботи теплогенератора. Встановлено, що розроблений, на основі термоелектричних перетворювачів TEG2 41-1,4-1,2, когенераційний електрогенеруючий модуль продемонстрував задовільну роботу: заряд батареї відбувався вже при мінімальній тепловій потужності котла, починаючи з 3 В.

Одержані результати довели, що застосування запропонованої технології дає змогу забезпечити автономність електроживлення біотеплогенератора та підвищити енергоефективність усієї установки на 3,5–4 %. Термін окупності

розробленої автономної когенераційної системи електроживлення на базі біотеплогенератора становить 34 місяці, обчислений річний економічний ефект від впровадження – 3628 грн.

ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі на підставі узагальнення результатів виконання теоретичних і експериментальних досліджень вирішено наукове завдання, яке має народногосподарське значення, є актуальним і полягає у визначенні енергетичних параметрів термоелектричних модулів у режимі генерування електричної енергії з теплоти димових газів біотеплогенератора, що забезпечує розв'язання прикладної наукової задачі – підвищення енергоефективності автономної когенераційної системи на базі твердопаливних теплогенераторів шляхом застосування термоелектрогенеруючих модулів.

Проведені дослідження дають підстави зробити такі висновки:

1. Аналіз існуючих когенераційних систем дає змогу стверджувати про ефективність їх використання на базі біотеплогенераторів. Встановлено, що для живлення засобів телекомунікацій об'єктів господарювання достатньо 150 Вт, для генерування яких доцільно використовувати термоелектричні генератори.

2. Раціональне дозування компонентів горіння твердого біопалива забезпечує підвищення енергоефективності спалювання на 10 %, зменшення загальних витрат палива становить 3,5–4 %, а також зменшує ризик виникнення аварійних ситуацій.

3. Визначено, що у димових викидах біотеплогенератора міститься 15 % теплової енергії, якої достатньо для генерування електричної енергії за допомогою ТЕГ, що забезпечить автономну роботу установки потужністю до 50 кВт.

4. Доведено можливість отримання електричної потужності 5–13 Вт від одного термоелемента у робочих температурних режимах залежно від вибраної модифікації ТЕГ. Обґрунтовано, що максимальне значення ККД термоелектричного модуля досягається шляхом забезпечення максимально допустимої різниці температур 100–120 °С на його поверхнях та величиною електричного опору навантаження, наближеного до величини внутрішнього опору генераторного модуля 2,5–5,5 Ом.

5. Створено комплексну імітаційну модель когенераційної установки, яка дає змогу дослідити функціонування системи для різних режимів навантаження ТЕГ з похибкою моделювання не вище 5 %.

6. Розроблено алгоритм відбору максимальної потужності ТЕГ, що дає змогу забезпечити максимальне значення потужності – 200 Вт та ККД – 7 %, шляхом розрахунку необхідного вихідного струму термомодуля та підтримання мінімально можливої середньої температури на його поверхнях.

7. Здійснено випробування розробленої технології на ТОВ «Українські технологічні системи» з 01 червня по 01 листопада 2015 року, які довели можливість підвищення енергоефективності автономної когенераційної установки на 3,5–4 %. Розрахований річний економічний ефект від

впровадження становить 3628 грн, термін окупності складає 34 місяці.

Подальший розвиток наукових досліджень планується у напрямі пошуку способів підвищення коефіцієнта корисної дії ТЕГ; зменшення енерговтрат теплогенератора; підвищення екобезпеки автономних когенераційних систем; створення моделей процесів та систем керування для автономного когенераційного комплексу електроживлення на базі твердопаливного біотеплогенератора.

СПИСОКОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Статті у наукових фахових виданнях України:

1. Загородній Р. І. Особливості експлуатації твердопаливних теплогенераторів / Р. І. Загородній // Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія «Техніка та енергетика АПК». – 2011. – Вип. 166. – Ч. 4. – С. 239–248.

2. Загородній Р. І. Дослідження процесу горіння твердого біопалива засобами моделювання / Р. І. Загородній // Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія «Техніка та енергетика АПК». – 2013. – Вип. 184. – Ч. 2. – С. 261–265.

3. Загородній Р. І. Підвищення ефективності спалювання твердої біомаси у теплогенераторах: [електронний ресурс] / Р. І. Загородній // Енергетика і автоматика. – 2013. – № 2. – С. 37–42.

Статті у наукових фахових виданнях України,

включених до міжнародних наукометричних баз даних:

4. Загородній Р. І. Дослідження когенераційної установки біотеплогенератора засобами імітаційного моделювання / Р. І. Загородній // Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія «Техніка та енергетика АПК». – 2015. – Вип. 224. – С. 228–234.

5. Підвищення енергоефективності біотеплогенератора шляхом раціонального дозування компонентів горіння / [Федорейко В. С., **Загородній Р. І.**, Луцик І. Б., Іскерський І. С.] // Науковий вісник Національного гірничого університету. – 2014. – № 4. – С. 27–32. *(Здобувач створив імітаційну модель електротехнологічного комплексу теплогенератора із системою керування електроприводом вентилятора і шнека на базі використання адаптивних нейронечітких систем).*

6. Використання термоелектричних модулів у теплогенераторних когенераційних системах / [Федорейко В. С., **Загородній Р. І.**, Луцик І. Б., Рутило М. І.] // Науковий вісник Національного гірничого університету. – 2014. – № 6. – С. 111–116. *(Здобувач розробив експериментальний взірць когенераційної установки на основі застосування термоелектричного модуля для резервного живлення системи керування теплогенератора).*

Патент

7. Патент 83633 Україна, МПК F23N 5/18 (2006.01). Спосіб ефективного згорання твердого біопалива в атмосферних котлах / Федорейко В. С., **Загородній Р. І.**, Павх І. І., Шульга В. М.; заявник і патентовласник Тернопільський національний педагогічний університет імені Володимира Гнатюка; заявлено 18.02.2013; опубліковано 25.09.2013; Бюл. № 18. *(Здобувач розробив структурну схему способу та обґрунтував алгоритм її функціонування).*

Тези наукових доповідей:

8. Федорейко В. С. Підвищення ефективності використання біомаси в зерносушарці ДСП-50 / В. С. Федорейко, **Р. І. Загородній**, С. Балабан // І науково-технічна конференція факультету переробних і харчових виробництв, 19 травня 2011 р.: тези доповіді. – Тернопіль: ТНТУ, 2011. – С. 39. *(Здобувач обґрунтував ефективність і використання біомаси у зерносушарці ДСП-50).*

9. Загородній Р. І. Використання біомаси для виробництва теплогенераторного палива / Р. І. Загородній // Світлотехніка й електроенергетика: історія, проблеми, перспективи: VI Міжнародна науково-технічна конференція, 24–26 квітня 2012 р.: тези доповіді. – Тернопіль: ТНТУ, 2012. – С. 92–94.

10. Загородній Р. І. Передумови визначення раціональних режимів регулювання процесу горіння у твердопаливних теплогенераторах / Р. І. Загородній // Проблеми сучасної енергетики і автоматики в системі природокористування: Міжнародна науково-технічна конференція, 14–26 жовтня 2013 р.: тези доповіді. – Київ: НУБіП України, 2013. – С. 85–86.

11. Загородній Р. І. Термоелектричні когенераційні системи / **Р. І. Загородній**, І. Б. Луцик // Відновлювальна енергетика, нові автоматизовані електротехнології в біотехнічних системах АПК: II Міжнародна науково-практична конференція молодих вчених, 16–17 жовтня 2014 р.: тези доповіді. – Київ: НУБіП України, 2014. – С. 43–44. *(Здобувач обґрунтував доцільність використання термоелектричних перетворювачів на твердопаливних теплогенераторах).*

12. Загородній Р. І. Застосування термоелектричних модулів у когенераційних системах на базі теплогенераторів / **Р. І. Загородній**, І. Б. Луцик, М. І. Рутило // Світлотехніка й електроенергетика: історія, проблеми, перспективи: V Міжнародна науково-технічна конференція, 23–27 лютого 2015 р.: тези доповіді. – Тернопіль-Яремче, 2015. – С. 11–12. *(Здобувач провів дослідження елементів Пельтьє з метою визначення реальних електроенергетичних параметрів у різних режимах роботи та визначив їх енергетичну ефективність).*

Депоновані наукові роботи:

13. Енергозберігаючі інтелектуальні системи керування потоковими лініями виробництва твердого біопалива / В. С. Федорейко, Р. М. Горбатюк, **Р. І. Загородній**, М. І. Рутило, І. Б. Луцик, І. С. Іскерський, Т. І. Брездень

Міністерство освіти і науки України. – К., 2013. – 126 с. – Деп. в УкрІНТЕІ, № 0111U001323. *(Здобувач провів економічні розрахунки виробництва двокомпонентного твердого біопалива).*

14. Енергоощадні інтелектуальні системи керування процесом приготування твердобіопаливної суміші для теплогенераторів / В. С. Федорейко, **Р. І. Загородній**, М. І. Рутило, І. Б. Луцик, І. С. Іскерський, Т. І. Брездень, П. Б. Клендій; Міністерство освіти і науки України. – К., 2015. – 124 с. – Деп. в УкрІНТЕІ, №0113U000123. *(Здобувач провів експериментальні дослідження режимів дозування компонентів паливної суміші).*

15. Розробка інтелектуальної системи керування біотеплогенератора стаціонарної сушарки зерна / В. С. Федорейко, **Р. І. Загородній**, М. І. Рутило, І. Б. Луцик, І. С. Іскерський, Т. І. Брездень, І. І. Павх; Міністерство освіти і науки України. – К., 2015. – 59 с. – Деп. в УкрІНТЕІ, №0113U003334. *(Здобувач розробив імітаційні моделі, що реалізують алгоритми розрахунку необхідних витрат теплоти для сушіння зерна).*

АНОТАЦІЯ

Загородній Р. І. Автономна когенераційна система електроживлення на базі біотеплогенератора. – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.09.03 – електротехнічні комплекси та системи. – Національний університет біоресурсів і природокористування України, Київ, 2016.

Робота присвячена вирішенню науково-прикладного завдання, що полягає у підвищенні енергоефективності автономної когенераційної системи на базі біотеплогенератора шляхом приготування раціонально дозованої паливної суміші і застосування термоелектричних модулів.

Проаналізовано витрати енергії у біотеплогенераторі для розв'язання завдання забезпечення автономності електроживлення когенераційної системи та визначення напрямів дослідження.

Визначено фактори ефективності використання палива у теплогенераторі для збільшення теплового ККД. Запропоновано спосіб подачі паливної суміші у біотеплогенератор на основі аналізу складу димових газів, який забезпечує зменшення загальних витрат палива і дає змогу підвищити енергоефективність теплогенераторів та їх екобезпеку.

Проаналізовано енергетичні втрати з відхідними газами для визначення можливостей їх використання як джерела теплової енергії для електрогенеруючого модуля та обґрунтовано доцільність його встановлення на димовивідній трубі; процес термоелектричного перетворення, що проходить у електрогенераторному модулі для визначення можливості збільшення його ККД.

Встановлено залежності вихідної потужності термоелектричного перетворювача від його середньої температури та опору навантаження, які дали змогу визначити енергоефективні діапазони робочих температур модуля.

Розроблено імітаційні моделі біотеплогенератора та термоелектричного перетворювача як складових комплексної імітаційної моделі автономної когенераційної системи, дослідження якої дало змогу визначити енергоефективні режими роботи установки.

Проведено виробничу перевірку дослідного зразка автономної когенераційної системи електроживлення на базі біотеплогенератора обґрунтовано економічну ефективність її застосування.

Ключові слова: автономна когенераційна система, енергоефективність, електроживлення, твердопаливний біотеплогенератор, термоелектричний модуль, коефіцієнт надлишку повітря.

АННОТАЦІЯ

Загородний Р. И. Автономная когенерационная система электропитания на базе биотеплогенератора. – На правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.09.03 – электротехнические комплексы и системы. – Национальный университет биоресурсов и природопользования Украины, Киев, 2016.

Работа посвящена решению научно-прикладной задачи, которая заключается в повышении энергоэффективности автономной когенерационной системы на базе биотеплогенератора путем приготовления рационально дозированной топливной смеси и применения термоэлектрических модулей.

Проанализированы затраты энергии биотеплогенератора в процессе его функционирования для решения задачи обеспечения автономности электропитания когенерационной системы и определения направлений исследования.

Определены факторы эффективности использования топлива в теплогенераторе для увеличения теплового КПД. Предложен способ подачи топливной смеси в биотеплогенератор на основе анализа составляющих дымовых газов, который обеспечивает уменьшение общих затрат топлива и позволяет повысить энергоэффективность биотеплогенераторов и их экобезопасность.

Проанализированы энергетические потери с уходящими газами для определения возможностей их использования в качестве источника тепловой энергии для электрогенерирующего модуля и обоснована целесообразность его установки на дымоотводящей трубе; процесс термоэлектрического преобразования, происходящий в электрогенерирующем модуле для определения возможности увеличения его КПД.

Установлена взаимосвязь сгенерированной электрической мощности теплоэлектрогенератора с теплотой дымоотводных газов с учетом определенных зависимостей теплотворной способности твердого биотоплива от вида древесины и ее влажности.

Установлены зависимости выходной мощности термоэлектрического преобразователя от его средней температуры и сопротивления нагрузки,

которые позволили определить энергоэффективные диапазоны рабочих температур модуля. Получены аналитические зависимости тока нагрузки, обеспечивающего максимальную выходную мощность ТЭГ, которые подтверждены результатами имитационного моделирования и производственными испытаниями.

Результаты моделирования проверены на разработанной лабораторной установке с электрогенерирующим блоком ТЭГ, функционирующей на разработанном алгоритме задания максимальной мощности.

Разработаны имитационные модели биотеплогенератора и термоэлектрического преобразователя как составляющих комплексной имитационной модели автономной когенерационной системы, исследования которой позволило определить энергоэффективные режимы работы установки.

Проведена производственная проверка опытного образца автономной когенерационной системы электропитания на базе биотеплогенератора и обоснована экономическая эффективность ее применения. Результаты исследований свидетельствуют, что применение предложенной нами технологии позволяет обеспечить автономность электропитания биотеплогенератора и повысить общую энергоэффективность когенерационной установки.

Ключевые слова: автономная когенерационная система, энергоэффективность, электропитание, твердопливный биотеплогенератор, термоэлектрический модуль, коэффициент избытка воздуха.

ANNOTATION

Zahorodnii R. I. Autonomous cogeneration system of electric power supplied by bioheat generator. –The Manuscript.

Dissertation for obtaining scientific degree of candidate of technical sciences on specialty 05.09.03 –electrotechnical complexes and systems.–National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, Kyiv, 2016.

The thesis presents the solving process of scientific and applied task concerning improving the energy efficiency of autonomous cogeneration system based on the bioheatgenerator by means of preparing the fuel mixture dosage and application the thermoelectric modules as well.

Energy consumptions in the bioheatgenerator are analyzed in order to solve the ensuring of autonomy of power cogeneration system and to determine the approaches of its scientific research.

The factors of fuel efficiency in the heatgenerator are determined for increasing the thermal efficiency. The method of fuding the fuel mixture into the bioheatgenerator is also suggested; it based on the analyses of flue gases, reduces the overall fuel costs, increases the heatgenerators efficiency and environmental safety.

The energy losses from exhaust gases are analyzed in order to determine its possible using as a source of thermal energy for electricity generation module; the expediency of its implantation is also established. The process of thermoelectric conversion is analyzed; it occurs in the electricity generation module for

determining the possibility of increasing its efficiency.

The dependences of the thermoelectric converter output from its average temperature and the load resistance are resolved; it allows to elaborate the energy module operating temperature ranges.

The simulation models of the bioheat generator and the thermoelectric converter are developed as a component of the integrated simulation model of autonomous cogeneration system; this research allows to identify the energy-efficient modes of set.

The prototype battery power cogeneration system based on the reasonable bioheat generator is productionally tested and the economic efficiency of its use is also established.

Keywords: autonomous cogeneration system, energy efficiency, power, solid bioheat generator, thermoelectric module, coefficient of air ratio.

Підписано до друку 15.07.2016
Формат 60×84/16. Друк RESO.
Папір друк. Ум. друк. арк. 0,9. Обл.-вид.арк.
Зам. №15. Наклад 100 пр.
Видрук. з оригінал-макета:
редакційно-видавничий відділ Тернопільського
національного педагогічного університету
імені Володимира Гнатюка
м. Тернопіль, вул. Максима Кривоноса, 2.