

УДК 621.311.1:620.92:620.98

П.Г. Плешков, проф., канд. техн. наук, С.П. Плешков, доц., канд. техн. наук, П.Г. Стець, здобувач

Центральноукраїнський національний технічний університет, м. Кропивницький, Україна

E-mail: petrstec1989@gmail.com

Оцінка можливостей використання термоелектричних модулів для часткового заміщення електропостачання від мережі у сільській місцевості Кіровоградської області

У статті розглядається можливість використання альтернативних джерел енергії загалом і термоелектричних модулів зокрема - для часткового заміщення електропостачання від мережі у сільській місцевості. Метою статті є оцінка можливості використання альтернативних джерел енергії для часткового заміщення електропостачання від мережі у сільській місцевості Кіровоградської області.

Проведено оцінку використання портативної низьковольтної термоелектрогенеруючої системи на основі елементів Пельтьє для утилізації тепла теплових втрат побутового опалення з використанням відходів лісівництва у якості паливного енергоресурсу.

У результаті розгляду потенціалу альтернативних джерел енергії визначено, що жодне з розглянутих альтернативних джерел енергії не здатне у повному обсязі задовольнити потреби споживача, слід розглядати лише можливість їх комплексного використання, та компонування не з готових модулів, а з окремо підібраних елементів – для зниження ціни обладнання, оскільки собівартість 1 кВт електроенергії у такій системі буде невиправдано високою у порівнянні з живленням від мережі навіть за перспективи зростання тарифу. Тому такі пристрої слід орієнтувати на використання в умовах – де доступ до живлення від мережі повністю унеможливлений.

термоелектричний модуль, елемент Пельтьє, когенерація, утилізація тепловтрат

П.Г. Плешков, проф., канд. техн. наук, С.П. Плешков, доц., канд. техн. наук, П.Г. Стець, соиск.

Центральноукраинский национальный технический университет, г. Кропивницкий, Украина

Оценка возможностей использования термоэлектрических модулей для частичного замещения электроснабжения от сети в сельской местности Кіровоградской области

В статье рассматривается возможность использования альтернативных источников энергии в общем и термоэлектрических модулей в частности - для частичного замещения электроснабжения от сети в сельской местности. Целью статьи является оценка возможности использования альтернативных источников энергии для частичного замещения электроснабжения от сети в сельской местности Кіровоградской области.

Проведена оценка использования портативной низковольтной термоелектрогенеруючої системы на основе элементов Пельтьє для утилизации тепла тепловых потерь бытового отопления с использованием отходов лесоводства в качестве топливного энергоресурса.

В результате исследования потенциала альтернативных источников энергии определено, что ни одно из рассмотренных альтернативных источников энергии не способно в полном объеме обеспечить снабжение потребителя, следует рассматривать лишь возможность их комплексного использования, и компоновки не из готовых модулей, а из отдельно подобранных элементов - для снижения цены оборудования, поскольку себестоимость 1 кВт электроэнергии в такой системе будет неоправданно высокой по сравнению с питанием от сети даже с учетом перспективы роста тарифа. Поэтому такие устройства следует ориентировать на использование в условиях - где доступ к питанию от сети полностью невозможен.

термоэлектрический модуль, элемент Пельтьє, когенерація, утилізація тепловтрат

© П.Г. Плешков, С.П. Плешков, П.Г. Стець, 2017

Постановка проблеми. Тенденція до неперервного зростання вартості невідновлюваних паливних енергоресурсів набула особливої інтенсивності із загостренням кризи в енергетиці України. Відсутність можливості використання власного вугілля антрацитової групи для потреб енергетичної галузі промисловості на початку 2017 року навіть призвела до оголошення особливого стану в енергетиці рішенням РНБО від 16 лютого 2017 року «Про невідкладні заходи з нейтралізації загроз енергетичній безпеці України та посилення захисту критичної інфраструктури».

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Попередні дослідження особливостей застосування відновлюваних джерел енергії для заміщення живлення від мережі розглядались у роботі [1], а у роботах [2,3,4,5] розглянуто потенціал відновлюваних джерел для забезпечення споживача теплом, джерело [6] наводить параметри теплопродуктивності різнорідних типів деревини, у вищерозглянутих роботах окремо досліджуються вітрова, сонячна енергетика та використання низькопотенційного тепла ґрунту, але тематика використання термоелектричних перетворювачів, як частини когенераційної установки розглянуто не було, чого не достатньо для повноцінного прогнозування енергетичного потенціалу відновлюваних джерел енергії.

Постановка завдання. Мета дослідження оцінка можливості використання альтернативних джерел енергії для часткового заміщення електропостачання від мережі у сільській місцевості Кіровоградської області.

Виклад основного матеріалу. У таких умовах альтернативні джерела енергії мають стати не лише доповненням до традиційного живлення від мережі, але й частково замінити її у випадку масованих віялових відключень – при порушенні балансу енергосистеми. В такому разі проєктована система має складатись з невеликих портативних елементів незалежних від спеціалізованого джерела живлення, погодних умов та наявності кваліфікованого персоналу для її експлуатації чи ремонту у разі пошкодження. Також слід врахувати якумога більший ресурс робочого часу до необхідності профілактичного ремонту та низьку собівартість її складових, оскільки така система орієнтована на дрібного одноосібного споживача.

До найбільш поширених систем електропостачання з альтернативними джерелами енергії відносяться: вітрова енергоустановка, фотоелектрична енергоустановка, когенераційна система з двигунами Стірлінга, тепловий насос з перетворювачами тепла в електроенергію.

Когенераційна система з використанням двигунів Стірлінга може мати достатню для побутового користування потужність і не залежить від джерела паливних енергоресурсів, здатна утилізувати будь-який твердий горючий матеріал (для прикладу Viesmann-Vitotwin 300-W може жити невеликий замський будинок – у ній один модуль котел-двигун продукує 1 кВт електроенергії, та 6 кВт теплової енергії). Проте собівартість обладнання в ній виявляється надмірно високою – 25-30 тис.грн. за 1 кВт встановленої потужності.

Вітрова електрогенаторна установка не задовольняє умові портативності, (для прикладу Dolphin D-800 з максимальною потужністю 900 Вт працює у межах швидкостей вітру від 3 до 18 м/с, потребує монтажу башти висотою від 4 м, та важить понад 23 кг, без урахування ваги станини). Також слід зауважити, що найбільш характерною середньодобовою швидкістю вітру на висоті до 20 м над поверхнею ґрунту на більшій частині Кіровоградської області (без урахування вітрових каналів, котрі є аномаліями кліматичної зони) протягом року розрахована за методикою [1] є 4 м/с, тобто така установка за незначним виключенням буде продукувати не більше 25%

своїєї потужності, що становить близько 225 Вт – при собівартості установки від 13 до 17 тис. грн.

Теплонасосна система також функціонує лише в умовах довготривалого розміщення, і як правило вбудовується у опалювану будівлю, та не продукує електроенергію – якщо використовується окремо, без перетворювачів теплової енергії в електроенергію (елементи Пельтьє, двигуни Стірлінга). Теплонасосна система незважаючи на кращі початкові показники – для умов Кіровоградської області (крім місцевостей, де відносна вологість ґрунту протягом року не знижується нижче 75-80%) виявилась не ефективною у тривалій перспективі детальніше процес охолодження ґрунту розглядався у роботі [3]. Спостерігається переохолодження поверхневого та приповерхневого шарів ґрунту у весняно-зимовий період, що обумовлено порушенням акумулюючої здатності нижніх шарів ґрунту [4] – внаслідок надмірного відбору тепла. Протягом чотирьох років з моменту установки їх тепловий режим стабілізується на рівні нижче природного на 2-4 С° в залежності від обводненості ґрунтів у місцевості установки теплонасосної системи.

Фотоелектрична система генерації електроенергії (для прикладу система складається з двох сонячних батарей PLM 250 Вт/24 В, інвертора Axioma energy 1500 ВА, та двох гелевих акумуляторних батарей MNG 100-12) потребує монтажу на незатінюваній поверхні, зокрема на даху будівель. Вона досить проста у монтажу, не потребує висококваліфікованого персоналу для обслуговування, але має високу собівартість (27,5 тис. грн.). Враховуючи географо-кліматичні умови Кіровоградської області розглянуті в роботі [1] (середньодобову опроміненість поверхні, кількість сонячних днів у місяці, висоту поверхні над рівнем моря) така установка буде продукувати у середньому 2,8 кВт*год за зимову добу, та 31,5 кВт*год за літню добу. Чого замало для задоволення потреб споживача – враховуючи його розташування у сільській місцевості та споживання ним 115~120 кВт у середньому на місяць.

Таким чином для типового одноосібного побутового споживача у сільській місцевості – експлуатація вищенаведених систем фінансово не виправдана для подібних споживачів.

Тому пропонується застосування низьковольтної термоелектрогенеруючої системи на основі елементів Пельтьє для утилізації тепла теплових втрат побутового опалення з використанням відходів лісівництва у якості паливного енергоресурсу. У якості термоелектричного перетворювача пропонується система із низько вартісних (до 300 грн/шт.) елементів Пельтьє закріплених на еластичному корпусі і з'єднаних паралельно. Охолодження цих модулів пропонується виконати за допомогою алюмінієвих радіаторів, – один такий елемент при різниці температур холодної та гарячої сторін 50°С продукує струм 1,3 А, напругою 5.5 В, і номінальною енергопродуктивністю 3.6 Вт*год. Параметри системи розраховані згідно з методикою наведеною у роботі [5].

Де струм, зокрема, виражається наступним рівнянням (1) [5]:

$$I_g = q^* \alpha T_0 Z T_0 (1 + m + Z T_0), \quad (1)$$

де I_g – генерований модулем струм;
 q^* – тепловий потік через елемент Пельтьє;
 Z – внутрішній опір елемента;
 T_0 – термоелектрична добротність;
 α – термоерс;

m - відношення опору навантаження R_n до внутрішнього опору термоелемента $R_i = L/\sigma$, де L – довжина елемента, σ – питома електропровідність елемента.

У модулі пропонується використовувати 5 елементів Пельтьє, тому їх сумарна енергопродуктивність за вказаної вище різниці температур становитиме 18 Вт. Такий модуль навіть з урахуванням втрат на стабілізаторі – придатний для зарядки гелевих акумуляторів напругою 12 В, літій-полімерних батарей напругою 5 В. Також система містить інтегральний DC-DC перетворювач з мінімальною входною напругою 1,8 В та максимальною вихідною напругою 14 В – типу LM2621, та плату живлення для пристроїв з USB 3.0 інтерфейсом. Таким чином вищенаведена система спрямована на живлення світлодіодного освітлення, малопотужних споживачів постійного струму, зокрема пристроїв зв'язку, та малопотужних інкубаторів чи брудерів при врахуванні можливості живлення від постійного струму, з інфрачервоними керамічними нагрівальними елементами потужність не вище 50 Вт. Повна вартість такої системи з літій полімерною батареєю ємністю 3000 мА*год становитиме менше 2000 грн. Оскільки для вказаної термоелектричної системи відсутня спеціалізація за джерелом тепла – вона придатна для утилізації тепловтрати на виводах котлів парових систем опалення, і для широко застосовуваних у сільській місцевості Кіровоградської області плит, що опалюються дровами.

Прийmemo до розгляду другий варіант – як більш розповсюджений, менш вартісний (при умові де для виробництва 1 Гкал за нормальних умов необхідно – 135,67 м³ природного газу, що коштує станом на березень 2017 року – 1293 грн, для порівняння див. таблиці 1 та 2) та такий, що дозволяє використання у якості паливного енергоресурсу відходи лісівництва. Для опалення 100 м² приміщення в середньому необхідно 3 Гкал/місяць в незалежності від виду палива (дрова, вугілля, пелети чи газ).

У табл. 1 наведено результати порівняння собівартості та теплотворної здатності різного роду паливних енергоресурсів [6].

Таблиця 1 – Теплота згоряння різних видів палива (усереднені значення)

Тип палива	Теплота згоряння	Вартість
Дрова (якісні, сухі, з деревини дуба)	3200 ккал/кг	0,42 грн/кг
Пелети	4500 ккал/кг	1,2 грн/кг
Антрацит	7000 ккал/кг	1,5 грн/кг
Природний газ	8400 ккал/м ³	4,7 грн/м ³

Піролізні котли, для вироблення 1 Гкал спалюють – 312 кг дров, приблизна вартість яких складе – 131 грн. Для одержання 1 Гкал у пелетному котлі з пелет (брикети), буде витрачено – 222 кг пелет, приблизна вартість яких становить – 266 грн. Вугільні котли для одержання 1 Гкал з використанням антрациту витрачають – 143 кг вугілля, що коштуватиме – 214 грн. У газових котлах для отримання 1 Гкал необхідно спалити 119 м³ газу, - вартість складе – 1293 грн.

Результати порівняння різнорідних типів палива за обсягом витрати на отримання 1 Гкал теплової енергії, та різних видів дров за теплотворною здатністю, результати порівняння наведемо у табл. 2 та 3 [6]:

Таблиця 2 – Порівняння кількості палива та фінансових витрат для отримання 1 Гкал тепла

Вид паливного енергоресурсу	Обсяг спожитого ресурсу на отримання 1 Гкал.	Вартість 1 Гкал, грн
Дрова	312 кг	131
Брикети	222 кг	266
Антрацит	143 кг	214
Газ	119 м ³	1293

Таблиця 3 – Теплотворна здатність на один складометр дров

Дрова	Теплотворна здатність, кВт*год/кг	Теплотворна здатність, мДж/кг	Теплотворна здатність, МВт*год./склд.метр	Об'ємна щільність, кг/дм ³	Щільність, кг/склд.метр
Ясеневі	4,2	15	2,0	0,69	480
Дубові	4,2	15	2,0	0,67	470
Березові	4,2	15	1,9	0,65	450

Показники теплотворної здатності дров різного ступеня висихання наведено в табл. 4 нижче [6]:

Таблиця 4 – Показники теплотворної здатності дров в залежності від вологості

Вологість дров, %	Теплотворність, ккал	Примітка
0	4400	Термічна сушка у сушильні
15	3634	Конвективна, природна сушка
20	3381	Природна сушка без обдуву
50	1863	Свіжої вирубки

Розглянемо наступний об'єкт – одноповерхова житлова будівля розташована у Маловисківському районі – загальною площею 175 м² з опаленням на основі дров'яної плити та парового котла об'ємом 85 л. Повний об'єм завантажувальної камери дров'яної плити даного об'єкту становить 0,45 м³. Для досягнення температури поверхні труб на виході з парового котла рівної 50 °С необхідне повне спалення двократного об'єму сухої деревини твердих порід дерева (дуб, ясен, осокір).

За умови використання обрізків дубових дров пошкоджених шкідниками деревини (відходи лісівництва) один цикл нагріву буде коштувати 160 гривень. При температурі навколишнього середовища 16 °С без додаткового використання палива ця температура зберігається протягом 3 годин.

Детальніше динаміку зміни температур поверхонь модуля та труб наведено на рис. 1

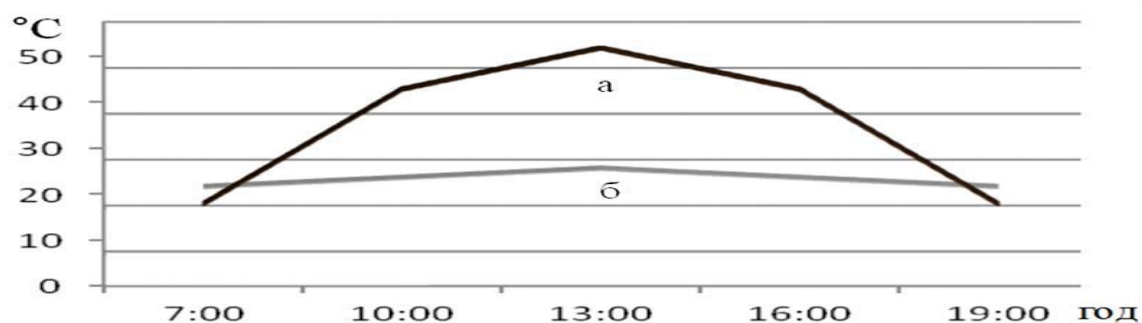


Рисунок 1 – Зміна температур поверхонь труб та термоелектричного модуля протягом циклу нагрів – спалення – охолодження

За таких умов (різниця температур гарячої та холодної сторін елементів становитиме 30°C) розглянутий вище термоелектричний модуль буде продукувати з одного елемента Пельтьє за одну годину роботи $0,85\text{ А}$ струм, напругою $2,5\text{ В}$, а сумарна енергопродуктивність модуля з п'яти елементів за годину роботи складе всього лише 11 Вт . Враховуючи, що у процесі роботи модуля – поверхня труб парової системи опалення буде охолоджуватись, а сам модуль нагріватись його енергопродуктивність знизиться за другу годину роботи до 45% від номінальної (за різниці температур гарячої та холодної сторін елементів 23°C), і до 15% від номінальної за третю годину роботи модуля. Тоді, - за один опалювальний цикл (розігрів-спалення-охолодження), що триває 9 годин – модулем буде згенеровано лише $0,027\text{ кВт}$, чого замало навіть для часткового заміщення живлення від мережі, а також для індивідуального живлення малопотужних інкубаторів чи брудерів з інфрачервоним обігрівом котрі за найменшої потужності споживають $45\sim 50\text{ Вт}\cdot\text{год}$, і достатньо лише для світлодіодного освітлення та заряджання мобільних пристроїв зв'язку. Враховуючи нестабільний характер генерованих вольтамперних характеристик модуля, його використання для заряджання літій-полімерних батарей без підвищуючого перетворювача-стабілізатора не є можливим оскільки може викликати їх швидке зношення і вихід з ладу. Детальніше вихідні характеристики модуля наведено на рис. 2.

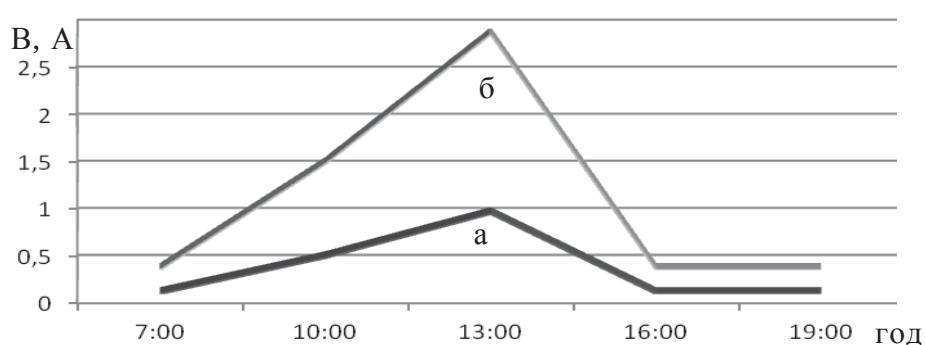


Рисунок 1 – Зміна вихідних характеристик модуля (а) – генерований струм, (б) – напруга, протягом циклу нагрів – спалення – охолодження

Висновок. Отже, з вищенаведеного отримуємо наступний висновок – жодне з розглянутих альтернативних джерел енергії не здатне у повному обсязі задовольнити потреби споживача, слід розглядати лише можливість їх комплексного використання, та компонування не з готових модулів, а з окремо підібраних елементів – для зниження

ціни обладнання, оскільки собівартість 1 кВт електроенергії у такій системі буде невиправдано високою у порівнянні з живленням від мережі навіть за перспективи зростання тарифу. Тому такі пристрої слід орієнтувати на використання в умовах – де доступ до живлення від мережі повністю унеможливлений.

Список літератури

1. Дослідження енергетичного потенціалу регіональних альтернативних джерел для оптимізації паливно-енергетичних балансів [Текст] / [Плешков П.Г., Кубкін М.В., Серебренніков С.В. та ін.] // Вісник ХНТУСГ ім. П.Василенка. Техн. науки. «Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України». – Харків: ХНТУСГ, 2013. – Вип. 141 – С. 54-57.
2. Визначення впливу тривалої експлуатації теплонасосної системи на теплообмінні процеси у низькозволоженному ґрунті [Текст] / Стець П.Г., Плешков П.Г. - Міжнародна науково-практична конференція молодих вчених “Відновлювальна енергетика, новітні автоматизовані електротехнології в біотехнічних системах АПК” 21-22 листопада 2016 р., Київ, Україна. – К.: НУБІП України ННІ Енергетики, автоматики і енергозбереження, 2016. – 129 с.
3. Thermische Nutzung des Untergrunds: VDI 4640 Blatt 2. – VDI-Richtlinie, 2010. – 41 s. – (Düsseldorf 2000).
4. ASHRAE Handbook. 1999 HVAC Application. Chapter 31. Energy resources.
5. Иоффе, А.Ф. Термоэлектрическое охлаждение [Текст] / А.Ф. Иоффе, Л.С. Стельбанс, Е.К. Иорданшвили, Т.С. Ставицкая ; АН СССР, Ин-т полупроводников. – М. ; Л. : Изд-во АН СССР, 1956. – 108 с
6. Дрова. Особливості горіння дров різних порід деревини [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://bio.ukrbio.com/ua/articles/3336/>

Petro Pleshkov, Prof., Phd tech. sci., Sergiy Pleshkov, Assoc. Prof., Phd tech. sci., Petro Stets, applicant

Central Ukrainian National Technical University, Kropivnitsky, Ukraine

Evaluation of the possibilities of using thermoelectric modules for partial replacement of electricity from the grid in the rural area of the Kirovograd region

This article considers the possibility of using the alternative energy sources in general and thermoelectric modules in particular - for partial replacement of electricity supply from the network in rural areas. The purpose of the article is to research the possibility of using alternative sources of energy for partial replacement of electricity from the network in rural areas of the Kirovograd region.

The use of a portable low-voltage thermoelectric-generating system based on Peltier elements for the utilization of heat losses heating in domestic heating systems using forestry wastes as a fuel energy resource was estimated in the article.

As a result of research into the potential of alternative energy sources, it is determined that none of the alternative energy sources considered is able to fully supply the consumer, and is recommended only consider the possibility of their integrated use, and the layout is not from ready modules, but from individually selected elements - to reduce the price Equipment, since the cost of 1 kW of electric power in such a system will be unreasonably high in comparison with the power supply from the grid, even taking into account the growth prospects of power supply cost. Therefore, such devices should be oriented to use in conditions - where access to power from the network is completely impossible.

a thermoelectric module, a Peltier element, cogeneration, heat loss utilization

Одержано 24.04.17