

УДК 621.763

Експериментальне визначення електротехнічних характеристик комбінованого сонячно-електричного повітрянагрівача

П. О. Пасічник¹, К. О. Габа², М. А. Кириченко³¹ к.т.н., доц. Київський національний університет будівництва та архітектури, м. Київ, Україна, pasichnik89@bigmir.net, ORCID: 0000-0001-8499-6949² к.т.н., доц. Київський національний університет будівництва та архітектури, м. Київ, Україна, chibra@bigmir.net, ORCID: 0000-0003-2201-1408³ к.т.н., доц. Київський національний університет будівництва та архітектури, м. Київ, Україна, kirichenko-m@ukr.net, ORCID: 0000-0002-3651-3153

Анотація. Розробка та вдосконалення наявного геліотехнічного обладнання є необхідним кроком для розвитку сонячних систем теплопостачання. Одним із шляхів розвитку сонячних повітрянагрівачів є використання нових матеріалів для виготовлення абсорберів сонячного випромінювання. Це значно розширює можливість застосування насадкових та пористо-капілярних матеріалів на відміну від рідинних геліоколекторів. Доцільним є використання текстильних матеріалів для виготовлення абсорберів. Це дозволить знизити вартість колекторів сонячної енергії, а також значно зменшити їхню масу та капітальні затрати. Напрямок розвитку та досліджень повітряних систем теплопостачання на основі обладнання із сучасних текстильних матеріалів є актуальним. Зокрема, використання вуглеграфітового трикотажного полотна дає змогу прямого нагріву абсорбера сонячної енергії електричним струмом за рахунок відповідних електротехнічних характеристик. Адже з подібних матеріалів виготовляють різноманітні гнучкі нагрівачі (грілки, медичні ковдри тощо). Таким чином, вдається поєднати два обов'язкових елементи геліосистем теплопостачання. У статті наведено результати експериментального дослідження питомого електричного опору, використаного у розробці авторів вуглеграфітового трикотажного полотна. Отримано значення відношення питомого електричного опору до площі перерізу $\rho/S = 15,07 \text{ Ом/м}$.

Ключові слова: геліотехніка, сонячний колектор, абсорбер сонячної енергії, вуглеграфітове полотно, електричний нагрів, відновлювана енергія

Вступ. На основі попередніх досліджень авторів розроблено комбінований сонячно-електричний повітрянагрівач (КСЕП) [1]. Він поєднує в собі два головних елементи будь-якої геліосистеми – сонячний тепловий колектор та додаткове джерело теплоти. Абсорбер сонячного випромінювання виконано з вуглеграфітового трикотажного полотна (ВТП). Це зменшує його вартість та масу. Використовувати їх можливе на наявних об'єктах теплопостачання без спорудження громіздких опорних конструкцій для розміщення геліополів. Комбінований сонячно-електричний повітрянагрівач може використовуватися як самостійний теплогенератор для систем теплопостачання.

Актуальність дослідження. Однією з важливих проблем використання геліосистем є обов'язкове застосування в них додаткових джерел енергії, зокрема електричної енергії. Використання КСЕП дозволить об'єднати в собі два елементи геліосистеми. При використанні КСЕП для систем вентиляції отримуємо електричний калорифер з особливостями установки, але з сезонним коефіцієнтом заміщення 0,2-0,4 [2].

Останні дослідження та публікації. Для використання запропонованого сонячно-

електричного повітрянагрівача необхідно підігрівати його абсорбер електричним струмом. Тому матеріал, з якого він виготовлений, повинен бути електропровідним, але мати достатній електричний опір, Ом. Теплова потужність визначається із закону Джоуля-Ленца [3]

$$Q = I^2 R t, \text{ Дж} \quad (1)$$

де I – сила струму на ділянці, А; R – електричний опір ділянки, Ом, t – час підведення електроенергії, с.

За формулою (1) при відповідному електричному опорі, Ом, можна обходитися відносно малими та безпечними силами струму, А. Перевага повітряних колекторів сонячної енергії над рідинними полягає також у можливості безпечного прямого пропускання електричного струму через абсорбер, тому що повітря не проводить електричний струм.

З урахуванням наведеного для абсорбера КСЕП висуваються вимоги як до сонячних теплових колекторів та електронагрівачів. По-перше, вони повинні мати високу поглинальну здатність сонячного випромінювання, на рівні $A_s \geq 0,9$ [4]. Це забезпечується властивостями поверхні світлосприйняття, тобто природної селективності.

Таблиця 1

Технічні характеристики вуглеграфітового трикотажного полотна УТП

№	Характеристика	Значення
1	Поверхнева густина (маса 1 м ²), г/м ²	1597
2	Питомий поверхневий електричний опір, Ом	4000
3	Повітропроникність, дм ³ /(м ² с)	90 (72...108)
4	Вогнестійкість, с	(вогне- стійка)
5	Товщина полотна, мм	3...4
6	Вміст вуглецю, %	98,5
7	Вміст золи, %	1,5
8	Середній коефіцієнт тепло- провідності волокна, Вт/(м К)	287
9	Питома теплоємність волок- на, кДж/(кг К)	0,72
10	Температуропровідність волок- на, м ² /с	0,181
11	Водопоглинання, %	132,6
12	Залишкова деформація за довжиною, %	4
13	Залишкова деформація за ши- риною, %	7
14	Кількість петельних (на 100 мм): рядків стовпчиків	56 54
15	Розтяжність при навантажен- нях, що менше розривних, %: за довжиною за шириною	19 66
16	Кислотостійкість (зменшення розривного навантаження) H ₂ SO ₄ – 20% H ₂ SO ₄ – 50%	2,4

По-друге, вони повинні мати розвинену поверхню теплообміну. Це інтенсифікує тепло-віддачу абсорбера до потоку повітря, що його обтікає [5]. По-третє вони повинні володіти відповідними властивостями:

- мала маса;
- стійкість до ультрафіолетового випромінювання;
- термостійкість;
- низька вартість для більшої ліквідності геліосистеми [6].

Для електронагрівача матеріал повинен мати достатній питомий електричний опір, Ом/м, та стійкість до впливу електричного струму [7].

Для задоволення висунутих вимог було використано вуглеграфітове трикотажне полотно, що вироблено в Інституті проблем матеріалознавства ім. Францевича Національної академії наук України під маркою УТП. Ринковим аналогом такого полотна є полотно типу УРАЛ-ТР (ГОСТ 28005-88). Останнє виробляється білоруськими та російськими фабриками з виробництва хімволокна [8].

Вуглеграфітові волокна, карбонізовані та графітізовані тканини й вуглецевий папір на сьогодні використовуються як електронагрівачі [7]. Це зумовлено питомим електричним опором вуглецевих волокон, Ом·м, термо- та електростійкістю. Сфери використання різноманітні:

- гнучкі нагрівачі для технологічних процесів при бетонуванні;
- медичні теплі ковдри
- грілки;
- опалювальні елементи для «теплих підлог» і «теплих стін».

Фізико-хімічні властивості полотна УТП, надані виробником та перевірені на акредитованій випробувальній лабораторії ПрАТ «Волтекс-Меланж» в м. Луцьк (табл.1).

Теплотехнічні характеристики ВТП (тепло-провідність, температуропровідність і т.д.) відповідають традиційним металам, що використовуються у геліотехніці для виготовлення абсорберів. Порівняльна характеристика приведена в табл.2. [9, 10]

Виробництво ВТП зосереджено в країнах близького зарубіжжя (Білорусь, Російська Федерація), а також є невеликі потужності в Україні, зокрема на дослідному виробництві Інституту проблем матеріалознавства імені І.М. Францевича Національної академії наук України при відділі композиційних матеріалів, і ці потужності, нажаль, не задіяні

Формулювання цілей статті. Дослідження електротехнічних властивостей використаного вуглеграфітового полотна.

Основна частина. Придатність ВТП для електронагрівання підтверджується в [7]. Електронагрівачі, що виготовлені з вуглеграфітових волокон, використовуються для виготовлення бетону, виробництва медичних грілок і ковдр і т.і.

Нагрів електронагрівача при постійному значенні напруги U , В, визначається лише електричним опором провідника, згідно з рівнянням (2). Опір провідника [3]

Таблиця 2

Порівняльна характеристика ВТП і традиційних для геліотехніки металів

Величина	Алюміній	Мідь	Сталь	УТП
Коефіцієнт теплопровідності, Вт/(м·К)	211	385	47,6	287
Питома теплоємність, кДж/(кг·К)	0,93	0,385	0,46	0,72
Густина, кг/м ³	2675	8795	7850	2200
Температуропровідність, м ² /с	0,085	0,114	0,008	0,181
Питомий електричний опір, Ом·м ·10 ⁴	0,0271	0,0175	0,14	0,4
Селективне покриття	Треба	Треба	Треба	Не треба

$$R = \frac{\rho \ell}{S} = \frac{\rho_s \ell}{b}, \quad (2)$$

де R – електричний опір провідника, Ом;

ρ – питомий електричний опір провідника, Ом·м; ℓ – довжина провідника, м; S – площа поперечного перерізу провідника, м²; ρ_s – питомий поверхневий електричний опір, Ом; b – ширина провідника, м.

У табл. 1 наведено значення поверхневого питомого електричного опору 4000 Ом. Визначити придатне для інженерних розрахунків значення питомого опору провідника ρ за даним значенням неможливо. Це зумовлено анізотропністю вуглеграфітових волокон [11].

Також піддається сумніву визначення поперечного перерізу провідника, який формується з ВТП. Тому визначальною величиною для конкретного типу текстильного матеріалу є ρ/S , Ом/м, яку необхідно визначати експериментально.

Дослідження електричного опору проводилося на експериментальному стенді [12] з експериментальною секцією на рис. 1. Електричний прогрів абсорбера з ВТП забезпечується двома мідними провідниками, вживленими на протилежних краях тканини (рис. 1 б).

Для живлення ВТП, вимірювання напруги та струму створено електронний блок.

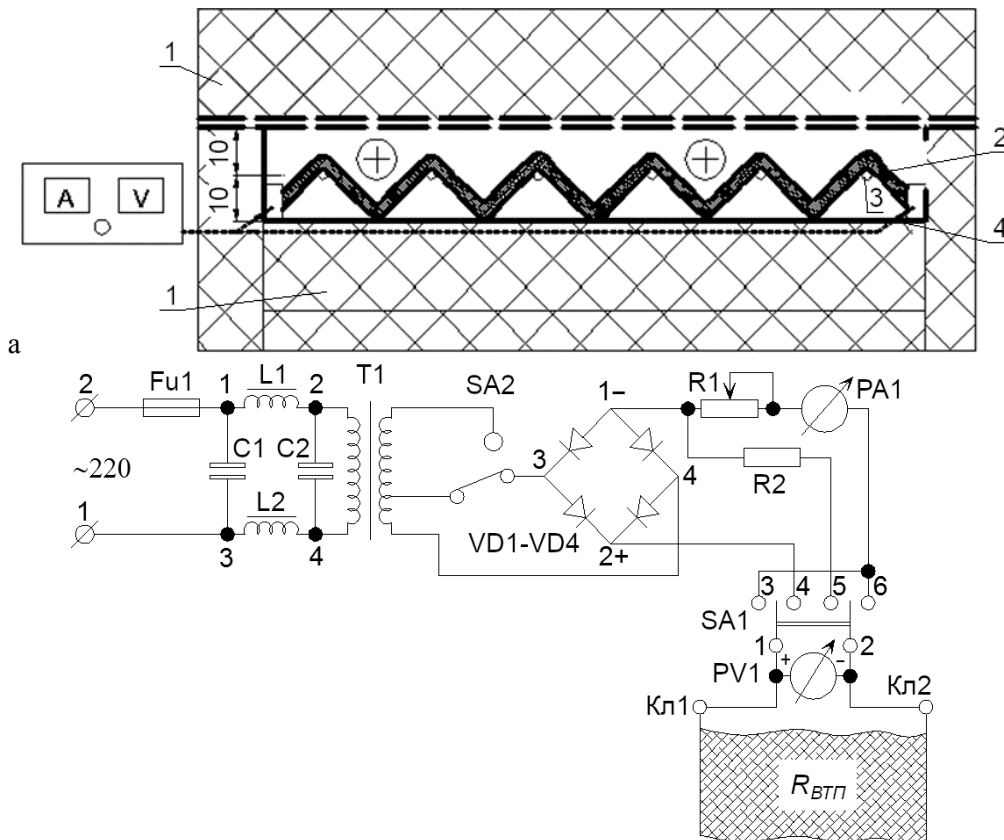


Рис. 1. Схема дослідної секції комбінованого сонячно-електричного повітрянагрівача:

а – розріз; б – електрична схема:

1 – теплоізоляційний шар мінеральної вати з металізованою основою завтовшки 20 мм; 2 – дослідне вуглеграфітове трикотажне полотно; 3 – поліетиленова волосінь завтовшки 1 мм; 4 – мідна пластина; Fu1 – запобіжник; L1, L2 – котушки індуктивності; C1, C2 – конденсатори; Т – трансформатор; VD1-VD4 – діодний міст; SA1-SA2 – перемикачі; R1-R2 – резистори; Кл1-Кл2 – клеми для приєднання дослідного вуглеграфітового трикотажного полотна опором $R_{ВТП}$, Ом

Таблиця 3

- Цей блок складається з
- фільтра перешкод L1 L2 C1 C2;
 - трансформатора T1;
 - випрямляча на діодному мості VD1-VD4;
 - виміральної ділянки (вольтметр, амперметр), що живиться від мережі 220В.

Прилад оснащений ручним регулятором потужності [12]. Довжиною провідника вважалася відстань між вживленими мідними провідниками. Дослід проводився при змінних значеннях напруги. Згідно з законом Ома електричний опір ВТП

$$R_{ВТП} = \frac{U}{I}, \text{ Ом} \quad (3)$$

де U – напруга, В.

Вимірювання проведено для трьох значень довжини ℓ провідника (відстань між мідними пластинами) 0,3 м, 0,5 м та 1 м для різних значень напруги U , В.

Результати експериментальних досліджень (табл. 3) показують, що полотно ВТП має значення $\rho/S = 15,07$ Ом/м. Це значення має прийматися при розрахунку КСЕП.

Висновки. Експериментально визначено питомий електричний опір вуглеграфітового трикотажного полотна УТП $\rho/S = 15,07$ Ом/м. Це значення дозволяє розрахувати необхідну довжину полотна, м, та напругу живлення, В.

Експериментальні дані

ℓ , м	U , В	I , А	$R_{ВТП}$, Ом	ρ/S , Ом/м	Середнє значення ρ/S , Ом/м
0,5	45	6	7,50	15,00	15,07
	100	13	7,69	15,38	
	125	17	7,35	14,71	
0,3	40	10	4,00	13,33	
	75	15	5,00	16,67	
	90	19	4,74	15,79	
1	35	2,5	14,00	14,00	
	60	4	15,00	15,00	
	110	7	15,71	15,71	

Перспективи подальших досліджень.

Дані дослідження дають змогу визначати електричну теплову потужність приладу в незалежності від розміру приладу. Результати досліджень, на-ведених в статті, можуть бути використані лише для конкретного типу вуглеграфітового трикотажного полотна. Для інших типів полотен необхідно проводити подібні дослідження при недостатності подібної інформації.

Подальші дослідження оптимальних абсорберів для КСЕП мають враховувати питомий електричний опір ВТП, як критерій оптимізації.

Література

1. Пат. 97541 Україна МПК F24H 3/00. Сонячно-електричний повітряний тепловий колектор / Пасічник П.О. ; власник Пасічник П.О.. – № u201409506 ; заявл. 29.08.2014 ; опублік. 25.03.2015, бюл. № 6/2015.
2. Приймак О.В. Визначення частки теплового навантаження, що заміщується енергією сонця та вітру для системи теплопостачання з комбінованим сонячно-електричним повітропідігрівачем / О.В. Приймак, П.О. Пасічник, Р.В. Білан, О.С. Нагорний // Енергоефективність в будівництві та архітектурі. – Вип. 8. – КНУБА, 2016, с. 251-256.
3. Детлаф А. А., Курс физики: учебное пособие для вузов / А.А. Детлаф, Б.М. Яворский – 2-е изд. испр. и доп. – Москва: Высшая школа, 1999. – 720 с.
4. Даффи Д. Тепловые процессы с использованием солнечной энергии / Д. Даффи, У. Бекман. – Москва: Мир, 1977. – 354 с.
5. Керн Д. Развитие поверхности теплообмена / Д. Керн, А. Краус. – Москва: Энергия, 1977. – 464 с.
6. Пасечник П. Особенности воздушных солнечных систем теплоснабжения / П. Пасечник, А. Приймак // Czestochowa University of Technology, Construction of Optimized Energy Potential. – vol.1(15). – 2015. – с.152-158.
7. Горелов В.П. Низкотемпературные нагреватели из композиционных материалов в промышленности и быту / В.П. Горелов. – Москва-Берлин: Директ-Медиа, 2016. – 208с.
8. ОАО «СветлогорскХимволокно» [електронний ресурс]. Режим доступу <http://www.sohim.by>.
9. Аvezов Р. Р. Повышение эффективности использования низкопотенциальных солнечных нагревателей в системах теплоснабжения: автореф. дис. ... докт. техн. наук.: 05.14.08 / Аvezов Р. Р. ; Национальная академия наук Узбекской ССР. – Ташкент, 1990. – 42с.
10. Харченко Н.В. Солнечные теплогенерирующие установки для систем теплоснабжения / Н.В. Харченко, Г. Н. Делягин. Москва: МИСИ, 1987. – 205 с.
11. Луцьк Р.В., Теплообмен при обработке текстильных материалов / Р.В. Луцьк, Э.С. Малкин, И.И. Абаржи. – Киев: Наукова думка, 1993. – 344 с.
12. Приймак О.В. Дослідження тепловіддачі абсорбера сонячного повітропідігрівача, виготовленого з гофрованого вуглеграфітового трикотажного полотна / О.В. Приймак, П.О. Пасічник // Вісник КНУТД, серія “Технічні науки”, 2016. – №1(94). – с. 85-92.

References

1. Pasichnyk P.O. "Soniachno-electrichnui povitriani teplovui kolektor ." Patent of Ukraine 97541. 25 March 2015.
2. Pryimak O. V., Pasichnyk P. O., Bilan R. V., Nagornui O. S. "Vyznachennia chastky teplovoho navantazhennia, shcho zamishchuetsia enerhieiu sontsia ta vitru dlia sistem teplopostachannia z kombinovanim soniachno-electrychnym povitropidihrivachem." *Enerhoefektyvnist v budivnutstvi ta arkhitekturi*, 2016, Vyp. 8. P. 251-256.
3. Detlaf A. A., Yavorskyi B.M. *Kurs fiziki: uchebnoe posobie dlia vuzov*. Vysshaia shkola, 1999. 720 p.
4. Daffi D., Beckman U. *Teplovyie protsessy s ispolzovaniem solnechnoi energii*. MIR, 1977. 354 p.
5. Kern D., Kraus A. *Razvitie poverkhnosti teploobmena*. Energiya, 1977. 464 p.
6. Pasechnik P., Pryimak A. "Osobennosti vozdushnikh solnechnykh sistem teplosnabzheniia". *Czestochowa University of Technology, Construction of Optimized Energy Potential*, 2015, vol.1(15). P.152-158.
7. Gorelov V.P. *Nizkotemperaturnye nagrevateli iz kompozitsionnykh materialov v promyshlennosti i bytu*. Direkt-Media, 2016. 208 p.
8. OAO «SvetlogorskKhimvolokno». URL: <http://www.sohim.by>.
9. Avezov R.R. *Povuscheniye effektivnosti ispolzovaniya nizkopotentsialnykh solnechnykh nagrevateley v sistemah teplosnabzheniya*. Diss. Abstract. Taschkent, 1990.
10. Kharchenko N. V., Deliagin G. N. *Solnechnye teplogeneriruiushchie ustanovki dlia sistem teplosnabzheniia*. MISI, 1987. 205 p.
11. Lutsyk R. V., Malkin E. S., Abarzhi I. I. *Teplomassoobmen pri obrabotke tekstilnykh materialov*. Naukova dumka, 1993. 344p.
12. Pryimak O. V., Pasichnyk P. O. "Doslidzhennia teploviddachi absorbera soniachnogo povitropidihrivacha, vyhotovlenoho z hofrovanoho vuhlehrafitovoho polotna". *Visnuk KNUVD, seriia "Tehnichni nauky"*. 2016. №1(94). P. 85-92.

УДК 621.763

Экспериментальное исследование электрических характеристик комбинированного солнечно-электрического воздухонагревателя

П. А. Пасечник¹, К. А. Габа², М. А. Кириченко³

¹ к.т.н., доц. Киевский национальный университет строительства и архитектуры г. Киев, Украина, pasichnik89@bigmir.net,
ORCID: 0000-0001-8499-6949

² к.т.н., доц. Киевский национальный университет строительства и архитектуры г. Киев, Украина, chibra@bigmir.net,
ORCID: 0000-0003-2201-1408

³ к.т.н., доц. Київський національний університет будівництва та архітектури, м. Київ, Україна, kirichenko-m@ukr.net,
ORCID: 0000-0002-3651-3153

Аннотация. Разработка и совершенствование гелиотехнического оборудования – необходимый шаг в развитии солнечных систем теплоснабжения. Одним из путей развития солнечных воздухоподогревателей является использование новых материалов для производства абсорберов солнечного излучения. Это расширяет возможность использования насадочных и капиллярно-пористых материалов в отличие от жидкостных гелиоколлекторов. Целесообразно использовать текстильные материалы для изготовления абсорберов. Это даст возможность снизить стоимость коллекторов солнечной энергии, а также уменьшить их массу и капитальные затраты. Направление развития и исследования воздушных систем теплоснабжения с оборудованием из современных текстильных материалов является актуальным. В частности, применение углеграфитового трикотажного полотна позволяет использовать прямой нагрев абсорбера солнечной энергии электрическим током благодаря его соответствующим электротехническим характеристикам. Ведь из подобных материалов делают гибкие нагреватели (грелки, медицинские одеяла и т.п.). Таким образом, представляется возможным объединить два обязательных элемента гелиосистем теплоснабжения. В статье приведены результаты экспериментального исследования удельного электрического сопротивления использованного в разработке авторов углеграфитового трикотажного полотна. Получено значение отношения удельного электрического сопротивления к площади сечения $\rho/S = 15,07 \text{ Ом/м}$.

Ключевые слова: гелиотехника, солнечный коллектор, абсорбер солнечной энергии, углеграфитовое полотно, электрический нагрев, возобновляемая энергия

UDC 621.763

Experimental research of electrical characteristics combined solar-electric air heater

P. Pasichnyk¹, K. Gaba², M. Kyrychenko³

¹ PhD., associate professor Kyiv National University of Construction and Architecture, Kyiv, Ukraine, pasichnik89@bigmir.net, ORCID: 0000-0001-8499-6949

² PhD., associate professor Kyiv National University of Construction and Architecture, Kyiv, Ukraine, chibra@bigmir.net, ORCID: 0000-0003-2201-1408

³ PhD., associate professor Kyiv National University of Construction and Architecture, Kyiv, Ukraine, kirichenko-m@ukr.net, ORCID: 0000-0003-2201-1408

Abstract. The development and improvement of solar equipment is a necessary step in the development of solar heating systems. One of the ways to develop solar air heaters is to use new materials for the production of solar absorbers. This expands the possibility of using nozzle and capillary-porous materials in contrast to liquid solar collectors. Development and research of air heating systems with equipment made of modern textile materials is relevant. For the manufacture of absorbers it is advisable to use textile materials. This will reduce the cost of solar collectors, as well as reduce their weight and capital costs. The absorber meets requirements for both solar thermal collectors and electric heaters: high absorption capacity of solar radiation; developed heat transfer surface; relevant physical properties: low mass, resistance to ultraviolet radiation, thermal resistance, low cost for cheaper solar system; sufficient electrical resistance. A combined solar-electric air heater has been developed, which combines two main elements of any solar system – a solar heat collector and an additional heat source, the absorber of which is made of carbon graphite knitted fabric. This reduces its cost and mass and allows them to be used on existing heating facilities without the construction of bulky supporting structures to accommodate solar fields. The combined solar-electric air heater can be used as an independent heat generator for heat supply systems. To use the proposed solar-electric air heater, it is necessary to heat its absorber with an electric current, so the material from which it is made must be electrically conductive, but have sufficient electrical resistance. The use of carbon-graphite knitted fabric allows the use the direct heating of the solar energy absorber by electric current due to the corresponding electrical characteristics. This article presents the results of an experimental study of the electrical resistivity of carbon-graphite knitted fabric. These studies allow determining the electrical power of the device regardless of the size of the device. The research results presented in the article can be used only for a certain type of carbon graphite knitted fabric.

Keywords: solar equipment, solar collector, absorber of solar radiation, carbon-graphite knitted fabric, electric heating, renewable energy

Надійшла до редакції / Received 25.11.2020