

УДК 66.047; 620.92; 662.6; 677.2; 697.3

ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІ ТЕПЛОТЕХНОЛОГІЇ ТА ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ВИРОБНИЦТВА ТЕПЛОТИ З ВІДНОВЛЮВАНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ

Снежкін Ю.Ф., академік НАН України, д.т.н., проф.

Інститут технічної теплофізики НАН України, вул. Марії Канніст, 2а, Київ, Україна, 03057, директор, Isnezhin@gmail.com, <http://orcid.org/0000-0001-7871-8774>

<https://doi.org/10.31472/tpe.4.2022.1>

Представлені енергоефективні розробки Інституту технічної теплофізики НАН України для виробництва теплоти з відновлюваних джерел енергії, створені за останні роки науковцями інституту. Проаналізовано їх енергетичний потенціал в виробництві теплової енергії та заміщенні природного газу.

The energy-efficient developments of the Institute of Engineering Thermophysics of the National Academy of Sciences of Ukraine for the production of heat from renewable energy sources, created in recent years by the institute's scientists, are presented.

Бібл. 5, рис. 7, табл. 1.

Ключові слова: енергоефективність, відновлювальні джерела енергії, геотермальна енергія, тепловий насос, сушіння, торф, композиційне паливо, пальники, котли, енергетичний потенціал.

Вступ. Сьогодні гарантування енергетичної безпеки окремо взятої країни можливе лише за умови досягнення і підтримання її енергетичної системи у стані, спроможному технічно надійно, стабільно, економічно ефективно та екологічно прийнятно забезпечувати енергетичними ресурсами економіку й соціальну сферу незважаючи на наявний та очікуваний вплив негативних внутрішніх і зовнішніх чинників.

Заощадження енергоресурсів рівнозначно їх виробництву, і найчастіше саме воно є найбільш рентабельним і екологічним засобом забезпечення зростання попиту на енергію.

Заходи підвищення енергоефективності та енергозбереження дозволяють знизити енергоємність економічного розвитку та навантаження на інфраструктуру, зміцнюючи тим самим енергетичну безпеку країни.

В розвинутих країнах з високотехнологічним виробництвом, великою часткою доданої вартості у внутрішньому валовому продукті (ВВП) та високим рівнем енергоефективності приріст ВВП відбувається при практично стаціонарному, а в деяких країнах навіть падінні рівня споживання паливно-енергетичних ресурсів (ПЕР). Так, наприклад, в економіці Німеччини при цьому ще й суттєве зменшення викидів парникових газів. Енергоємність ВВП в Україні значно вища ніж в розвинутих країнах світу. Тому стратегічним напрямком розвитку країни є скорочення енергоємності ВВП.

Метою роботи є пропозиції по використанню розроблених та створених в інституті деяких енергоефективних теплотехнологій (теплонасосна технологія горячого водопостачання, переробка торфу на паливо та добрива) та обладнання (геотермальна станція, теплонасосні сушарки, котел, пальники).

Методи дослідження включають вивчення та аналіз літературних, патентних, статистичних та інших даних, проведення техніко-економічних розрахунків та створення енергоефективних теплотехнологій і обладнання.

Вибір раціонального способу перетворення (споживання палива) направлений на збільшення віддачі енергії кінцевому споживачу є головним в енергоефективності. Основним узагальнюючим критерієм ефективності є коефіцієнт використання первинної енергії. Він визначається як відношення корисної теплоти до теплотворної здатності витраченого палива (табл.) [1].

Співставлення альтернативних варіантів нагріву теплоносія за ступенем використання первинної енергії показує, що найменш енергоефективним є прямий електричний нагрів ($K_{ел} = 0,27 - 0,35$), тому що на тепловій електростанції при виробленні електричної енергії на транспортування мережами втрачається в середньому 70 % первинної енергії. Нагрів теплоносія в теплогенераторі шляхом прямого спалювання палива в котельні призводить до втрат в середньому біля 15 % первинної

Таблиця 1. Коефіцієнт використання первинної енергії палива

Вид палива	Коефіцієнт Використання
Електропідігрівання	0,27...0,35
Спалювання палива в теплогенераторі	0,75...0,95
Парокомпресійний тепловий насос з електроприводом	0,6...1,35
Парокомпресійний тепловий насос з тепловим двигуном	1,37...2,3

енергії. Значне коливання коефіцієнту первинної енергії залежить від конструкції теплогенератора і виду палива. Для парокомпресійних теплових насосів з електроприводом коефіцієнт використання первинної енергії ($K_{ТН}$) дорівнює добутку коефіцієнта перетворення теплового насосу μ і коефіцієнта використання первинної енергії при виробництві електроенергії ($K_{ЕЛ}$).

$$K_{ТН} = \mu \times K_{ЕЛ}$$

Коефіцієнт перетворення теплового насосу μ залежить від різниці необхідної температури теплоносія і температури холодного джерела, термодинамічних властивостей робочої речовини і особливостей термодинамічного циклу та технічної досконалості конструкції.

Головним фактором високого коефіцієнта використання первинної енергії теплового насосу (ТН) є використання низькопотенційної теплоти відновлюваних джерел енергії (ВДЕ), потенціал яких перевищує енергію розвіданих традиційних енергоресурсів у 80 раз. Перспективними низькопотенційними джерелами енергії в Україні є геотермальна енергія, теплота відкритих водоймищ, стічні води, шахтні води, вентиляційні викиди, водообігові цикли в енергетиці і промисловості.

Інститут вперше в Україні розробив і впровадив в м. Краматорську теплонасосну технологію гарячого водопостачання потужністю 1,5 МВт, у якій джере-

лом низькопотенційної енергії є неочищені стічні води. Ця теплонасосна система забезпечує гарячою водою 4400 споживачів і дає змогу економити 1,5 млн м³ газу на рік. Коефіцієнт перетворення теплонасосної установи (ТНУ) $COP=3,6$ (рис. 1).

Загалом у світі 8...10 % виробленої енергії витрачається на процеси сушіння, під час яких випаровується понад 25 млн т вологи, яка належить до парникових газів [2]. Застосування теплонасосів у процесах сушіння є досить ефективним. Як уже зазначалося, при використанні теплонасосів для опалення чи гарячого водопостачання необхідно знайти джерело низькопотенційної енергії. У процесах сушіння воно є в самій сушарці – це відпрацьований теплоносій. Тобто застосування теплонасосних установок у процесах сушіння – майже ідеальний варіант їх використання.

Теплоносій, проходячи через сушарку, знижує свою температуру і збільшує вміст вологи. Відпрацьований теплоносій надходить у випарник, при цьому його температура знижується, волога конденсується на поверхні випарника, віддаючи енергію робочому тілу, а сам теплоносій осушується. Проходячи через конденсатор, сухий теплоносій підвищує свою температуру і знову надходить у сушарку. При цьому волога не потрапляє в навколишнє середовище, а конденсується в випарнику ТН і в вигляді рідини видаляється з сушарки. Витрати



Рис. 1. Теплонасосна система гарячого водопостачання потужністю 1,5 МВт в м. Краматорськ

енергії на процес сушіння в кілька разів нижчі, ніж у традиційних сушарках. У деяких випадках вони навіть менші за теоретичні витрати енергії на випаровування води з відкритої поверхні.

Уперше в Україні, в Інституті, розроблено зерносушарку для насінневого зерна. Витрати енергії на випаровування води становлять у ній 0,6...0,8 кВт.год/л. Схожість зерна після сушіння – 100 %. Сушарку впроваджено в МТС у Вінницькій області (рис.2).

Інститут також розробив і впровадив у В'єтнамі технологічну лінію виробництва харчових порошків з тропічних фруктів (Рис.3) У цій лінії використано чотиризонну тунельну сушарку з теплонасосною установкою. Сушильна установка призначена для зневоднення 450 кг на годину тропічних фруктів до вологості 6 % з метою одержання з висушеного матеріалу харчових порошків. Сушарка тунельного типу має чотири робочі зони, в кожній зоні підтримуються свої тепловологісні параметри сушильного агента. Перші три зони працюють за традиційною схемою з викидом вологого повітря та підживленням свіжого з атмосфери. Четверта зона має замкнутий контур циркуляції з теплонасосною системою осушки теплоносія сушарки. В зоні підтримується

температура біля 60 °С і вологовміст теплоносія 20 г/кг сухого повітря, що на 10 г/кг нижче, ніж в навколишньому середовищі. Витрати енергії на 1 кг випареної води в сушарці склали 1,0-1,2 кВт.год/л. Це дозволило вперше у світі отримати натуральні харчові порошки з бананів та ананасів в умовах високої вологості тропічного клімату (температура 32 °С, вологість 35 %) [3].

Технічно досяжний потенціал від впровадження ТНУ в Україні становить 31,3 млрд кВт.год/рік, що еквівалентно понад 4,2 млрд м³ газу.

Геотермальна енергетика є самостійним різновидом відновлюваної енергетики, що використовує у якості первинного ресурсу теплоту надр Землі для одержання електричної енергії та теплоти.

Основною перевагою геотермальної енергії перед іншими ВДЕ є екологічна чистота, відновлюваність, можливість сталого прогнозування запасів, незалежність від кліматичних і сезонних змін, стабільність і керованість.

Коефіцієнт використання встановленої потужності геотермальних електричних станцій світу становить, у середньому, 72 % і в окремих випадках 95 %, що 3...7 разів вище, ніж у сонячних, вітряних і гідралічних

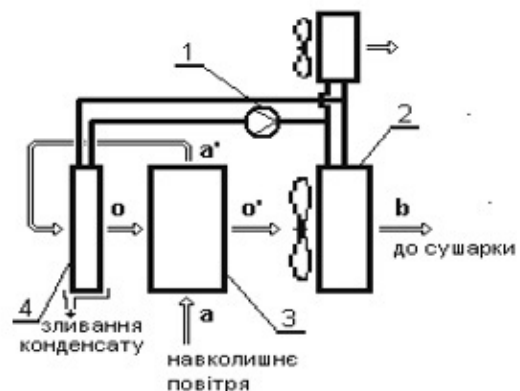


Рис. 2. Теплонасосні сушильні установки із замкнутою рециркуляцією повітря

станцій. Незважаючи на найвищі капіталовкладення використання геотермальних енергоносіїв, собівартість виробленої теплоти є найнижчою в порівнянні з іншими відновлюваними джерелами енергії (до 2,5 ... 3,0 центів США за 1 кВт.год).

Інститут був «піонером» розвитку геотермальної енергетики в Україні. Свого часу науковці інституту розробили екологічно безпечний метод використання мінералізованих геотермальних вод, який у світі назвали «українським». Згідно розробленого методу мінералізовану геотермальну воду підіймають на поверхню і вона в геотермальному тепловому пункті

віддає свою енергію комунальному теплоносію (воді), яка надходить на обігрів приміщень будівель, а відпрацьована геотермальна вода зворотно закачується під землю. Таким чином зберігається матеріальний баланс і не наноситься шкода навколишньому середовищу мінералізованою геотермальною водою.

В інституті розроблена когенераційна геотермальна станція з газопоршневим двигуном для використання газонасичених термальних вод (рис.4). Газонасичена термальна вода з температурою 64 °С з глибини 1850 м підіймається на поверхню. В сепараторі вона розділяється на газ і воду. Газ надходить в двигун

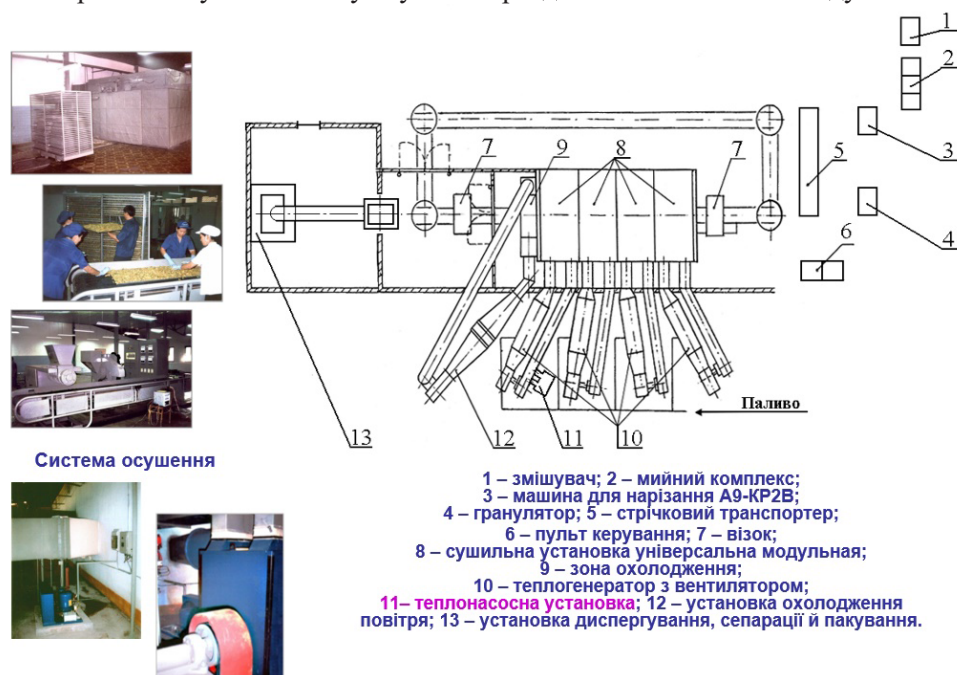


Рис. 3. Технологічна лінія виробництва харчових порошків з тропічних фруктів

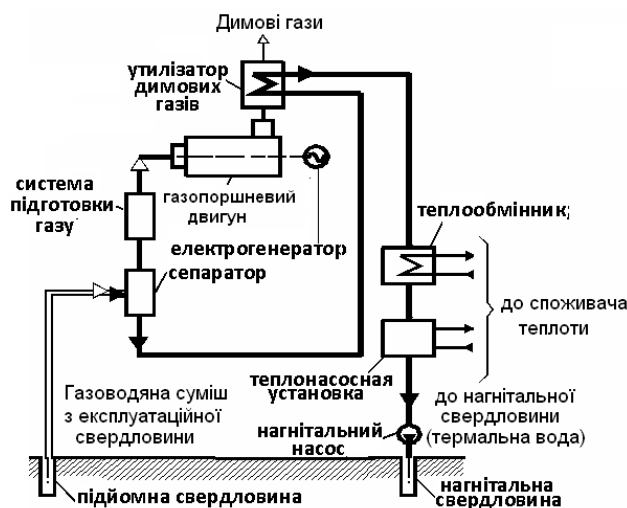


Рис. 4. Схема когенераційної геотермальної станції для використання газонасичених термальних вод з газопоршневим двигуном

де виробляється електроенергія, а термальна вода в теплообміннику віддає теплоту комунальному теплоносію (воді) і знову закачується в надра Землі. Тепло- ва потужність станції 0,76 МВт, електрична 60 кВт. Станція впроваджена в с. Медведівка, АР Крим.

Річний технічно-досяжний потенціал енергії геотермальних вод в Україні приблизно 13,5 тис. ГВт.год/рік теплової та 2,3 тис. ГВт.год/рік електроенергії, що еквівалентно зменшенню споживання природного газу на 2,2 млрд м³ на рік [4].

Щорічно в світі утворюється майже 3 млрд тонн торфу, що приблизно в 120 разів більше його видобутку. Згідно з резолюцією Генеральної асамблеї ООН №33/148 від 1978 р. торф віднесений до поновлюваних джерел енергії. В порівнянні з кам'яним вугіллям торф містить значно менше сірки і золи, а при спалюванні майже не виділяє токсичні речовини і, відповідно, не забруднює навколишнє середовище. Вартість одиниці енергії (ГДж) при спалюванні торфу найнижча серед існуючих видів палива (газ, вугілля, дрова, біомаса).

В Україні понад 2 млрд т торфу, що еквівалентно заміщенню 660 млрд м³ газу. В 1928 р. 35 % всієї енергії в Україні отримували з торфу. Потім пішов дешевий газ і використання торфу як палива різко зменшилось. Ще й аграрії кажуть, що торф дуже якісне добриво і протестують проти його використання як палива. Але добривом у торфі є гумінові речовини, кількість яких досягає понад 50 %, але вони водонерозчинні. Тому якщо торф використовувати як добриво на кислих ґрунтах, то ніякої

вигоди від нього немає. Ми розробили технологію по якій з торфу екстрагуємо (лужним розчином) гумінові речовини, а до обробленого торфу додаємо біомасу і отримуємо якісне композитне паливо, теплота згоряння якого 15...17 мДж/кг. На паливо ми розробили і затвердили ТУ, а на технологію отримали патенти і продали ліцензію на цю технологію у В'єтнам. Технічно досяжний потенціал від впровадження композитного палива в Україні становить біля 1,6 млн т у.п., що еквівалентно заміщенню понад 1,0 млрд м³ природного газу (Рис.5) [5].

Для спалювання композитного та інших видів крупнофракційних органічних палив (тріска, деревні пелети) в інституті створено водогрійний котел КВУ-0,5Т (Рис.6). Конструктивно котел є 3-х ходовим по димовим газам та 2-х ходовим по воді. Котел виробляється з уніфікованих вузлів, що значно спрощує технологію виробництва і зменшує його вартість. Конструкція котла дозволяє замінювати водогрійний барабан на паровий, змінювати вид палива та паливо – подачу, застосовувати ретортний палетний пальник, або пальник затисненого шару, які призначені для спалювання крупнофракційного твердого палива. Витрати палива на 1 Гкал 160...240 кг/год. Робочий тиск води 0,6 МПа. Температура води на виході з котла 115 °С, а на вході 60 °С. Коефіцієнт корисної дії 90 %. Маса котла 3000 кг. Габаритні розміри 2,7 x 1,7 x 2,0 м. Котел впроваджений в Україні.

Розроблений пальниковий пристрій затисненого шару, який може бути використаний для створення

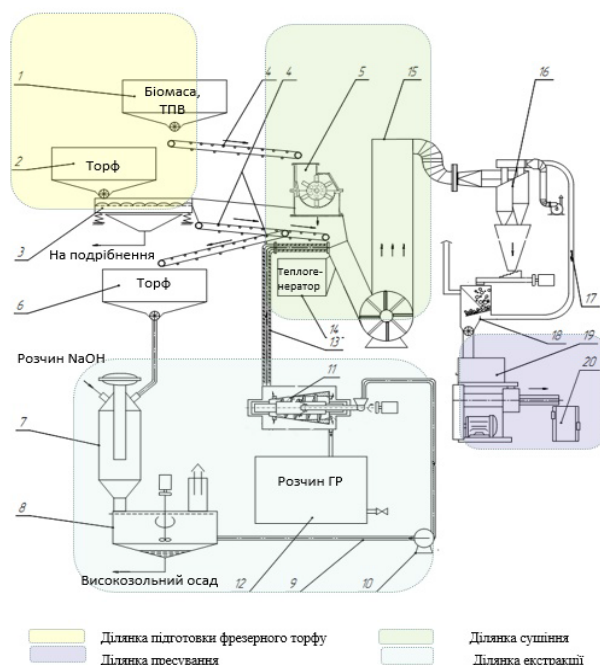


Рис. 5. Схема переробки торфу на паливо і добрива



Рис. 6. Водогрійний котел KBY-0,5T

котельних агрегатів та теплогенераторів, а також для переводу котлів, печей, сушарок працюючих на природному газу, з метою його заміщення альтернативним паливом (вугілля, деревні пелети, гранули, відходи переробки сільського господарства). Процес спалювання – двостадійний. Повнота згоряння до 1,0. Теплонапруга дзеркала горіння 3,0 – 8,0 МВт/квм. Пальниковий пристрій виготовляється на теплову потужність в залежності від потреб замовника і виду палива. Пальник впроваджений в Україні (Рис.7).

Висновки та рекомендації Створені в інституті енергоефективні теплотехнології і обладнання деякі з яких представлені в даній статті і дозволяють використовувати відновлювальні джерела енергії для виробництва теплоти та можуть заощаджувати в Україні понад 7,0 млрд м³ природного газу на рік.

Реалізація представлених вище технологій та обладнання на підприємствах країни сприятимуть диверсифікації енергоспоживання на місцях, зроблять важливий внесок у зниження енергоемності ВВП України, а також нададуть низку економічних та екологічних переваг.



Рис.7. Пальниковий пристрій затисненого шару

ЛІТЕРАТУРА

1. Снежкін Ю.Ф., Чалаєв Д.М., Шаврін В.С., Дабіжа Н.О. Теплові насоси в системі теплохолодопостачання.- К.: ТОВ «Поліграф-Сервіс» 2008.- 104 с.
2. Mujumdar A.S., Kudre T. Progress in drying technologies [Text] -2001.- Vol. 7/ - 459p.
3. *Енергоефективність процесів сушіння*: Тематичний збірник статей за ред. Ю.Ф. Снежкіна, Р.О. Шапар. – Київ: Тропея, 2021. Т.2 - .Ф. Снежкіна, Р.О. Шапар. – Київ: Тропея, 2021. Т.2 – 68 с.
4. Долінський А.А., Резакова Т.А. Вклад геотермальной энергетики в энергетическую независимость Украины. Промышленная теплотехника. 2017. Т. 39. № 2. С. 6-11.
5. Снежкін Ю. Ф., Корінчук Д.М. Торф – ефективний альтернативний вид палива. Теплофізика та теплоенергетика. 2022. Т.44. № 3. С.5-15.

ENERGY-EFFICIENT HEAT TECHNOLOGIES AND EQUIPMENT FOR HEAT PRODUCTION FROM RENEWABLE ENERGY SOURCES

Sniezhkin Yu.F.

Institute of Engineering Thermophysics of NAS of Ukraine, 2a, Marii Kapnist Str., Kyiv, Ukraine, 03057. Isnezhin@gmail.com, <http://orcid.org/0000-0001-7871-8774>

<https://doi.org/10.31472/tpe.4.2022.1>

Measures to increase energy efficiency and energy saving make it possible to reduce the energy intensity of economic development and the load on infrastructure, thus strengthening the energy security of the country.

The choice of a rational method of transformation (fuel consumption) aimed at increasing the return of energy to the final consumer is the main thing in energy efficiency. The main generalizing criterion of efficiency is the coefficient of use of primary energy. The analysis of this coefficient shows, that it is the highest in the steam compression heat pump (HP) $\eta = 0,6...2,3$. It is achieved by a HP due to the use of low-potential heat from renewable energy sources.

For the first time in Ukraine, the Institute developed and implemented heat pump technology for hot water supply in Kramatorsk, which made it possible to save 1.5 million m³ of gas per year.

Also, for the first time in Ukraine, heat pump dryers for dehydrating seeds and fruit-vegetable raw materials were created, the energy consumption of which is significantly less, than in existing analogues. Dryers have been introduced in Ukraine and Vietnam.

The technically achievable potential from the introduction of HP in Ukraine is 31.3 billion kWh/year, which is equivalent to more than 4.2 billion m³ of gas.

A cogeneration geothermal station with a gas piston engine for the use of gas-saturated thermal waters was developed and implemented at the Institute. The thermal power of the station is 0.76 MW, the electric power is 60 kW.

The annual technically achievable energy potential of geothermal waters in Ukraine is about 13.5 thousand KWh/year thermal and 2.3 thousand GW. h/year of electric energy, which is equivalent to reducing the consumption of natural gas by 2.2 billion m³ of gas per year.

In Ukraine, there are more than 2 billion tons of peat, which is equivalent to replacing 660 billion m³ of gas, which used in the world as fuel and fertilizers. For the first time, the thermal technology of simultaneous processing of peat into composite fuel (by adding to the diluted humic substances of peat biomass) and humic fertilizers was developed. The license for this technology has been sold in Vietnam.

For the burning of composite and other types of large-fraction organic fuels, the Institute has created a 0.5-ton water-heating boiler with a heat capacity of 0.5 MW. Fuel consumption per 1 Gcal is 160-240 kg/h. Water pressure 0.6 MPa. The efficiency is up to 90 %.

Compressed bed burner device was created, which can be used to create boilers and heat generators, as well as transfer boilers, furnaces, dryers, etc., working on natural gas, with the aim of replacing it with alternative fuel (coal, pellets, granules, agricultural waste). The completeness of combustion is up to 1.0. The thermal voltage of the combustion mirror is 3.0...8.0 MW/sq.m.

Energy-efficient heating technologies and equipment, which created at the Institute, can save more than 7.0 billion m³ of natural gas per year.

Bibliograph. 5, figure. 7, table. 1.

Key words: energy efficiency, renewable energy sources, geothermal energy, heat pump, drying, peat, composite fuel, burners, boilers, energy potential.

1. *Sniezhkin Y.F., Chalayev D.M., Shavrin V.S., Dabyzha N.O.* (2008) Heat pumps in the heating and cooling system. *Polygraph-Service LLC*. 104. (in ukrainian)

2. *Mujumdar A.S., Kudre T.* (2001) Progress in drying technologies [Text], V. 7. 459.

3. *Energy efficiency of drying processes: Thematic collection of articles edited by Y.F. Sniezhkina, R.O. Shapar* (2021). *Kyiv: Tropea*, 2. 68. (in ukrainian)

4. *Dolinsky A.A., Rezakova T.A.* (2017) The contribution of geothermal energy to the energy independence of Ukraine. *Industrial heat engineering*. 39. № 2. 6-11. (in russian)

5. *Sniezhkin Yu.F., Korinchuk D.M.* (2022) Peat is an effective alternative type of fuel. *Thermal physics and thermal energy*. 44. № 3. 5-15. (in ukrainian)

Отримано 05.11.2022

Received 05.11.2022