УДК 621.311.23
662.76.032

Карп Ігор Миколайович
Академік НАН України,
доктор технічних наук, професор
Інститут газу НАН України
Карп Игорь Николаевич
Академик НАН Украины,
доктор технических наук, профессор
Институт газа НАН Украины
Karp Igor
Academy of Sciences of Ukraine, PhD, Professor
Gas Institute of NAS of Ukraine

П'яних Костянтин Костянтинович
Молодший науковий співробітник
Інститут газу НАН України
Пьяных Константин Константинович
Младший научный сотрудник
Институт газа НАН Украины
Pyanykh Konstantin
Junior Researcher
Gas Institute of NAS of Ukraine

АВТОНОМНЕ ВИРОБНИЦТВО ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ — СТАН І ПЕРСПЕКТИВИ

Анотація. *Автономне виробництво електроенергії широко застосовується у США та Європі і набуває розповсюдження у зв'язку з розвитком відновлювальних джерел енергії. На даному етапі розвитку технологій виробництво електроенергії з використанням енергії вітру, сонця та біомаси, за незначними виключеннями, є збитковим і дотується з державних бюджетів. Перспектива розвитку децентралізованого виробництва електроенергії пов'язана з використанням відходів шляхом їх газифікації та використанням генераторного газу як палива для двигунів внутрішнього згоряння, які використовуються в якості приводів електрогенераторів.*

Ключові слова: *електроенергія, відновлювальні джерела, біомаса, відходи, газифікація.*

Аннотация. *Автономное производство электроэнергии широко применяется в США и Европе и приобретает распространение в связи с развитием возобновляемых источников энергии. На данном этапе развития технологий производство электроэнергии с использованием энергии ветра, солнца и биомассы, за незначительными исключениями, является убыточным и дотируется из государственных бюджетов. Перспектива развития децентрализованного производства электроэнергии связана с использованием отходов путем их газификации и использованием генераторного газа в качестве топлива для двигателей внутреннего сгорания, которые используются в качестве приводов электрогенераторов.*

Ключевые слова: *электроэнергия, возобновляемые источники, биомасса, отходы, газификация.*

Abstract. *Independent power production is widely used in the US and Europe and acquires distribution in connection with the development of renewable energy sources. At this stage of technology electricity generation using wind, solar and biomass with few exceptions, is unprofitable and subsidized by the state budget. The prospect of decentralized power production involves usage of waste gasification for generating gas and using gas as a fuel for internal combustion engines, which are used as drive for power generators.*

Key words: *electricity, renewable sources, biomass, waste, gasification.*

Області застосування автономного виробництва електроенергії. Автономне виробництво електроенергії має розповсюдження паралельно з централізованим електро- та теплопостачанням на крупних підприємствах, у учбових закладах, військових частинах, аеропортах, шпиталях, а також у віддалених ареалах, на островах, північних, гірських або пустельних територіях.

Автономне виробництво електричної енергії дозволяє вирішити декілька важливих задач: 1) підвищення надійності постачання електричної енергії споживачам, у тому числі при непередбаченому відключенні від мереж, 2) постачання електроенергії віддаленим споживачам за відсутності електричних мереж; 3) забезпечення незалежності споживачів від централізованого енергопостачання, у тому числі за рахунок використання відновлювальних джерел; 4) підвищення ступеню використання теплового потенціалу первинного палива при комбінованому виробництві електричної і теплової енергії, 5) заміщення енергії дорогих палив — природного газу, дизельного пального — енергією відходів при використанні різноманітних відходів в якості первинного джерела енергії. Завдяки цим перевагам автономне виробництво електроенергії та комбіноване виробництво електричної і теплової енергії набуває поширення в світі.

Розвиток автономної генерації буде зростати разом із розвитком нетрадиційних та відновлювальних джерел енергії. Зростання частки енергії, що виробляється відновлювальними джерелами енергії, є основним трендом як європейської, так і світової енергетики. Ця тенденція відображена як основна в останньому огляді світової енергетики World Energy Outlook, підготовленому Міжнародним енергетичним агентством (IEA) [1, с.4–7.]. Розвиток ВДЕ в огляді названо «мейнстрімом» енергетики. Сповіщається, що за 2015 рік приріст потужностей ВДЕ склав 130 ГВт і що з кожного долару, що інвестується в енергосектор, 60 центів припадає на ВДЕ. Але за незначними виключеннями відновлювальна енергетика у всьому світі субсидується державами і існує завдяки так званим «зеленим» тарифам. Обмежуючим фактором поширення ВДЕ є нестабільність постачання енергії в мережі. Засоби акумуляції енергії знаходяться ще в стадії розробления і поки що є дуже дорогими — $850/ кВт. [2]

У коментарях від промисловців [1, с.4–7.] до огляду IEA говориться, що нестабільність постачання енергії від ВДЕ спонукало спорудження на промислових підприємствах та в окремих громадах автономних енергоджерел на основі двигунів внутрішнього згоряння та газових турбін.

Принагідно зазначимо, що у зв'язку з необхідністю дотацій для функціонування ВДЕ частина країн повертається до вугільної енергетики. В цьому сенсі показовим є приклад Німеччини, яка є найпотужнішою економікою Європи. Після аварії на АЕС «Фукусіма» (Японія) в Німеччині було прийнято рішення про зупинку всіх АЕС і на цей час вже зупинено вісім з 17 АЕС. Частка виробництва енергії на АЕС становила 30% і було прийняте рішення замінити її ВДЕ. Почалося активне будівництво вітрових станцій (ВЕС), і в цей час частка енергії, що виробляється ВЕС, становить 10%. Ще стільки ж додають сонячна та біоенергетика. Але альтернативна енергетика виявилась дуже дорогою, на її субсидування вже витрачено 100 млрд євро. Для запобігання втрат економіки країни уряд Німеччини прийняв рішення про будівництво вугільних станцій, незважаючи на протести екологів. І зараз в Німеччині будуються 23 вугільних електростанції загальною потужністю 24 ГВт, десятки вугільних ТЕС будуються в Японії та Південній Кореї [3]. Загалом в Німеччині частка енергії, що виробляється на вугільних ТЕС, становить 40%.

Внаслідок високих дотацій у ВДЕ ціни електричної енергії в Німеччині, яка є європейським лідером по їх впровадженню, безперервно зростають у порівнянні із середньо європейськими. Якщо у 2000–2001 роках вони перевищували середньоєвропейські для домогосподарств на 18,5%, а промисловості на 3,5%, то у 2013 це перевищення складало відповідно 46 та 28% [4].

За даними звіту Development and Integration of Renewable Energy німецької фінансової консалтингової компанії Finadvice [5, с. 80] субсидії «досягли фантастичних 412 млрд дол., включаючи гарантовані, але ще не виплачені FIT (feed-in-tariff)». У табл. 1 наведені ціни на електроенергію у Німеччині та для порівняння — в Україні.

З таблиці видно, що вартість електроенергії на основі традиційних палив суттєво нижча за її вартість з ВДЕ. Внаслідок високих цін на електроенергію економіка Німеччини втратила з 2008 по 2013 рік 67,6 млрд дол. доходів від експорту. Негативним наслідком зростання виробітку електроенергії на ВДЕ є відповідне зменшення її виробітку на традиційних ТЕС. Останні все більше використовуються як пікові або резервні, що робить їх збитковими. Сучасні газові когенераційні установки завантажені всього на 5–15% на рік і можуть бути зупинені на протязі трьох років.

В Україні встановлена потужність ВДЕ на даний час становить 1,5%, а виробництво — 0,9%. Національний план дій з відновлювальної енергетики на період до 2020 року передбачає встановлену потужність ВДЕ без гідроелектростанцій у 5550 МВт (біля 10% від значення 2015 року), а виробництво 12660 ГВт·г (7,7%). Як зазначалось, виробництво енергії на основі ВДЕ потребує

Таблиця 1

Ціни на електроенергію у Німеччині (2014 р.) та в Україні (з 2017 р.)

Вартість електроенергії у Німеччині, Євро/кВт·г, 2014 рік (грн./кВт·г)			**Вартість електроенергії в Україні, Євро/кВт·г (грн./ кВт·г)***	
Сонце малі	установки електростанції	0,1–0,14 (3,0–4,2) 0,08–0,12 (2,4–3,6)	0,16 (4,982)	На енергоринку: для населення з 01.03.2017–0,056 (1,68 грн/кВт·г); для промисловості: для напруги I кл. 0,0580 (1,7624) для напруги II кл. 0,067 (2,0099)
Вітер	суша море	0,05–0,11 (1,5–3,3) 0,12–0,19 (3,6–5,7)	0,106 (3,202)	
Біогаз		0,14–0,21 (4,2–6,3)		
Буре вугілля		0,04–0,05 (1,2–1,5)		
Кам'яне вугілля		0,06–0,08 (1,8–2,4)		
Природний газ (ПГУ)		0,08–0,1 (2,4–3,0)		

* по курсу валют на 01.2017 р.

значних дотацій з бюджету. Як показують розрахунки, реалізація цього плану вимагає дотацій з бюджету при встановлених на 01.01.2017 р. ставках «зеленого» тарифу в сумі більше 4,5 млрд грн. (таблиця 2).

Дотації можуть бути виправдані в разі, коли енергетична складова супроводжується ліквідаційною, що має місце при утилізації відходів. На нашу думку, в Україні буде повільне зростання частки виробництва енергії з ВДЕ по мірі досягнення ними технологічної досконалості.

СНР. Одним з поширених напрямків автономного виробництва електричної енергії є виробництво на основі паливних ресурсів — природного газу, біопалива або відходів. Перевагою його є те, що воно на відміну від виробництва від сонця або вітру відзначається стабільністю та керованістю і у загальному випадку не потребує засобів акумуляції. Воно знайшло свою реалізацію як правило як комбіноване з виробництвом теплової енергії. Комбіноване виробництво електричної і теплової енергії у міжнародній технічній літературі має абревіатуру CHP — Combined Heat and Power Production. В Україні та інших країнах таку технологію ще називають когенерацією. Класичним прикладом когенерації є ТЕЦ. У європейських країнах та США розповсюдження CHP почалося приблизно з 70-х років минулого сторіччя і продовжується в цей час. Так, на теперішній час у США знаходяться в експлуатації більше 4400 установок комбінованого виробництво електричної і теплової енергії загальною встановленою потужністю 82 ГВт. Принагідно відзначається, що у США є 1100 мікромереж, 50% яких включають CHP [6, с. 6–9]. З питань децентралізованого виробництва енергії видається міжнародний електронний журнал «Decentralized Energy». У Великобританії ще у 1997 році працювало 1300 установок, які виробляли 17,8 ГВт·г електроенергії на рік, що становило 6% всієї виробітки країни. Середня потужність установок 3500 МВт, середній ККД — 75%. Основний ринок складали групи будівель — жилих, офісних, інших та малі промислові установки. Можна навести сотні прикладів ефективного встановлення автономних енергоустановок у країнах Європи.

Автономне CHP почало розвиватися в Україні наприкінці 80-х років минулого сторіччя, тоді з'явились

Таблиця 2

Встановлена потужність та виробництво електроенергії у 2020 р. згідно Національного плану дій з відновлювальної енергетики (по курсу валют на 01.01.2017)

Категорія об'єкта Електро-енергетики	**Встановлена потужність**		**Виробництво ел. енергії**		**Приріст, млн. кВт·г**	**Зелений тариф грн./кВт·г (євро/ кВт·г)**	**Дотація, млрд. грн**
	МВт	**% до 2015 р.**	**ГВт·г**	**% до 2015 р.**			
Фото-електростанції	2300	4,1	2420	1,47	770	4,98 (0,15–0,18)	3,830
Вітро-електростанції	2280	4,07	5900	3,6	205	3,06(0,102–0,18)	0,215
Гідро-електростанції	5350	9,57	13340	8,14			
Біо-електростанції	950	1,69	4220	2,58	107	4,846 (0,124)	0,517
Геотермальні електростанції	20	0,035	120	0,073		(0,15)	
Всього	10900	19,49	26000	15,88			4,602
Без гідро-електростанцій	5550	9,92	12660	7,73			

перші установки такого роду, які працювали на природному газі. Були розроблені теоретичні підґрунтя та визначені можливі галузі ефективного використання СНР в Україні [7, с. 559] У зв'язку із високою вартістю природного газу більшість установок було згодом законсервовано або втрачено.

Як в Європі, так і в Україні установки СНР економічно збиткові і їх функціонування підтримується державами. Не важко порахувати, що при існуючих цінах на паливо вартість 1 кВт·год, виробленої на природному газі, у 2–3 рази більша за вироблену централізовано на вугіллі або урані. Вартість теплової енергії, виробленої на установках СНР, не перекриває різниці у вартості між централізовано та автономно виробленої електричної енергії. При зміні цінової кон'юнктури, наприклад при високій вартості вугілля (у випадку імпорту) та зниженні вартості газу ситуація може змінитися на користь СНР, особливо з урахуванням високих ККД виробництва електроенергії у парогазових установках. В цей час в Україні працюють шість ТЕЦ на відходах деревини, з яких найбільші ТЕЦ потужністю 6,0 МВт в м. Іванків Київської та потужністю 12 МВт в м. Сміла Черкаської областей. Обидві працюють завдяки «зеленому» тарифу — 3,48 грн/кВт·год.

Наведемо також приклад Німеччини щодо державної політики у підтримці СНР. Нещодавно Бундестаг прийняв закон щодо дотацій на функціонування установок СНР потужністю від 1 до 50 МВт. Законом передбачається, що дотації будуть надаватись на тендерній основі і тільки на нові та корінним чином оновлені установки У тендерах можуть приймати участь і сусідні країни. Підтримку будуть отримувати тільки найбільш ефективні проекти. [8, с. 10]. Необхідно зауважити, що використання біомаси для виробництва електричної і теплової енергії в Європі дотується з державних бюджетів тільки з огляду на зобов'язання щодо збереження клімату.

В Україні у собівартості вироблення електроенергії у тепловій генерації близько 80% становить вартість палива. Тому при розгляді перспектив розвитку теплової автономної генерації слід орієнтуватися на недорогі види палива, такі як відходи, в основному відходи сільско- та лісогосподарського походження. ТПВ або мули стічних вод також можна віднести до енергетичних джерел автономної генерації, але їх спалювання пов'язане з необхідністю використання коштовних систем очистки димових газів.

Приклади СНР на біомасі. Використання біомаси та відходів відноситься до галузі відновлювальної енергетики, яка є одним з пріоритетних напрямків розвитку світової енергетики. Україна, як член Енергетичного Співтовариства, згідно Директиви ЄС 2009/28/ЕС із просування відновлювальної енергетики взяла на себе зобов'язання щодо обов'язкової частки відновлювальної енергії в структурі загального споживання у 2020 році на рівні 11%. Значне місце в Національному плані дій з відновлювальних джерел енергії займає енергія біомаси.

В Європі виробництво електроенергії та СНР з використанням біомаси продовжує набувати поширення. Так, вже у 2016 році найбільша вугільна електростанція Данії повністю переведена на використання біомаси у вигляді деревинних пелет та соломи (рис. 1).

Рис.1. Загальний вигляд вугільної електростанції, переведеної на використання біомаси у м. Аведор, Данія [9, с. 8].

Про потужність станції не повідомляється, але сповіщається, що вона буде забезпечувати електричною енергією 600 тис. споживачів, а тепловою 215 тис. домогосподарств, тобто є достатньо потужною [9, с. 8]. В Англії деревинні пелети почали використовувати на одній з найбільших ТЕС [10]. Робота по використанню пелет в Англії виконувалась за фінансовою підтримкою ЄС і подальша її доля у зв'язку з виходом країни з ЄС невизначена. В Німеччині відходи переробки деревини достатньо широко використовуються для виробництва електричної та теплової енергії на ТЕЦ потужністю в межах 3–12 МВт. Наведемо деякі приклади [11, с. 16–25].

Електростанція в м. Лейпциг на відходах деревини. Розміри деревини 100–50–50 мм. Топка з киплячим шаром. За рік спалюється 160 000 т деревини або 17 т/год. Перегріта пара 130 бар, 535 ^{0}С. Конденсаційна турбіна 20 МВт. Початок будівництва (створення консорціуму) — лютий 2004, пуск — грудень 2005. Система очистки димових газів — батарея циклонів-сепараторів, рукавні фільтри, димосос.

Електростанція в Німеччині, м. Райн-Мейн. Деревина 100–15–15 мм, подається пневмотранспортом в топку з нахилено-рухомими гратами. Споживання 90 000 т/рік (11,2 т/год). Пара 67 бар, 450 ^{0}С. Конденсаційна турбіна 14 МВт. Система очистки димових газів: циклон-сепаратор, реактор з подачею гідрату

окису кальцію, рукавні фільтри, впорскування розчину карбаміду в топку для зниження викиду NO_x.

Аналогічні електростанції побудовані в Німеччині, м. Вільмерсдорф, 55000 т деревини в рік, потужність 5,4 $МВт_{ел}$ + 5 $МВт_{тепл}$, м. Пфорцгеймі 103000 т деревини в рік, потужність 13,3 $МВт_{ел}$ з когенерацією; в Австрії, 300000 т/рік, а також в Данії 60000 т/рік, в Норвегії 90000 т/рік. Терміни будівництва 2–3 роки. Як правило, топки зі вдуванням аміаку. В більшості випадків електричною або електричною і тепловою енергією забезпечуються підприємства будівельної індустрії, целюлозно-паперової промисловості, та найближчі міста. Типовий вид однієї з таких електростанцій приведено на рис. 2.

Рис. 2. Електростанція в Вільмерсдорфі (Німеччина) на відходах деревини

Приймаючи до уваги пряму залежність між собівартістю виробництва електроенергії та вартістю первинного палива, приходимо до висновку про переваги використання у автономній електроенергетиці різноманітних недорогих відходів. Слід наголосити, що використання деяких відходів, що містять небажані включення, таких як ТПВ та мули каналізаційних стоків, має насамперед ліквідаційне спрямування. Енергетичний ефект в цьому випадку є хоч і значним, але другорядним. Про масштабність виробництва електричної і теплової енергії з ТПВ свідчать дані 2014 року Європейської конфедерації «Відходи в енергію» (CEWEP — Confederation of European Waste to Energy Plants) [12].

На основі 88 млн тонн ТПВ, що залишаються після їх часткового повторного використання та переробки, у 2014 році може бути вироблено 38 млрд.кВт·год електричної та 88 млрд.кВт·год теплової енергії. Енергією ТПВ може бути щорічно заміщено 9–48 млн тонн викопних палив та на 24–48 млн тонн зменшено викиди CO_2. Такою кількістю енергії можуть буди задоволені потреби 17 млн мешканців у електричній та 14 млн у тепловій енергії, що дорівнює населенню Данії, Фінляндії та Литви разом узятих. Такі обсяги виробництва енергії в більшій мірі можна віднести до централізованих джерел. Цифри вагомі, але питання екології оминається.

Представляє інтерес для України, що одна з профільних компаній AHS EMSTAR побудувала установку CHP для комунального підприємства у південно-східному Лондоні, що працює на смітті (ТПВ). Потужність установки 4,9 $МВт_{ЕЛ}$+33 $МВт_{ТЕПЛ}$

Серед численних наведених у різних джерелах прикладів по темі «Відходи в енергію» слід відзначити перший в своєму роді спільний проект компанії SynTech Bioenergy у партнерстві з Британським інститутом енергетичних технологій (Britain's Energy Technologies Institute). В основу проекту покладено запатентовану технологію термохімічної конверсії ТПВ, яку засновники називають «революційною», передовою (advanced). Проект заснований на засадах державно-приватного партнерства. Серед засновників енергетичні та інженерні компанії Rolls-Royce, BP, Shell, Caterpillar, EDF та Британський уряд .[13, с. 16–18]. Установка має потужність 1,5 $МВт_{ел}$ та буде використовувати розсортовані та перероблені муніципальні тверді відходи у електричну енергію та теплоту у безперервному режимі. Установка споживатиме 40 тонн ТПВ на день та постачатиме електроенергію у 2500 домівок. Ніяких викидів в атмосферу крім чистих продуктів згоряння з двигуна не буде. Повітряна або повітряно-киснева газифікація біосировини у фонтануючому шарі під тиском буде поєднана з гарячою фільтрацією та іншими очисними технологіями для газових викидів. Установка вироблятиме синтез-газ з мінімальним вмістом смоли, не споживатиме для його очистки води та не буде продукувати брудної води, яка потребувала би спеціальної обробки. Технологія газифікації була розроблена за грантом Департаменту енергетики США у $17,7 млн для військових потреб. Розроблено ряд потужностей установок від 12 кВт до 5 МВт.

Слід зауважити, що у когенераційних установках невеликої потужності (наприклад, в діапазоні 250 кВт-6 МВт) в якості приводів електрогенераторів використовуються переважно газові двигуни внутрішнього згоряння (ДВЗ). Вони мають ряд переваг перед мікротурбінами: менша вартість встановленої потужності, більш високий ККД, менша залежність ККД від навантаження та температури повітря. Принципово важливо те, що для них непотрібний високий тиск газу. В той же час як турбіни, так і особливо ДВЗ потребують високої якості газу, особливо в частині вмісту смоли.

Із викладеного вище стає очевидним, що для ефективного використання біомаси для автономного виробництва електроенергії з використанням ДВЗ як приводів генераторів критичною є якість генератор-

а) *б)*

Рис. 3. Електротеплогенеруючі комплекси номінальною електричною потужністю 45 кВт, які реалізуються Borealis Wood Power Corp.(а) та Arbor Heat&Power Co. (б)

ного газу, що подається у двигун. До такого висновку прийшли також і інші дослідники [14, с. 29–32].

Ефективність створення електро-теплогенеруючих комплексів малої потужності на базі технології газифікації підтверджується низкою компаній (Borealis Wood Power Corp., Канада; Arbor Heat&Power Co., Англія), які пропонують теплоелектростанції потужністю 30...45 кВт (рис. 3.).

Важливо вказати, що жодна інша технологія не може конкурувати в умовах малої потужності з газифікацією з точки зору енергетичної ефективності. Розробники Arbor Heat&Power Co гарантують генерацію близько 43 кВт*год електричної енергії та 82 кВт*год теплової енергії, при споживанні 38 кг/год деревини з вологістю не більше 15%.

Більш потужні установки частіше роблять на базі традиційних технологій — спалювання в котлі з виробництвом пари та використанням її для виробництва електроенергії в парових турбінах.

Порівняння різних технологій виробництва електричної енергії комплексів великої потужності (табл. 3.) не надає переваги якомусь з варіантів, залишаючи остаточний вибір на аналіз з урахуванням місцевих умов. При цьому суттєва перевага стандартної схеми (котел — парова турбіна) в надійності, яка є прямим наслідком великого досвіду в застосуванні такої схеми.

Автономне виробництво енергії з біомаси в Україні. Енергетичний потенціал біомаси в Україні значний, табл. 4 [15]. В електроенергетиці слід очікувати лише часткову його реалізацію. В основному він буде реалізовуватися в галузі теплозабезпечення як в міській, так і переважно в сільській місцевості.

Для економічно конкурентоспроможного виробництва електроенергії слід орієнтуватися виключно на використання відходів. Потенціал відходів біомаси зазначений у перших чотирьох рядках таблиці і складає сумарно 7,74 млн тонн умовного палива. Теоретично така кількість палива відповідає виробництву електроенергії з ККД 30% в обсязі 19,3 млрд кВт·г.

В Інституті газу розроблено оригінальну установку автономної генерації електроенергії на основі

Таблиця 3

Порівняльні характеристики апробованих технологій децентралізованого виробництва електроенергії

Найменування технології	Переваги	Недоліки
Паровий котел + парова турбіна + електрогенератор	– надійність технології; – відпрацьованість технології	– комплекс ХВО; – необхідність постачання води; – потужності більше 1 МВт;
Газогенератор + паровий котел + парова машина + електрогенератор	– можливість використання широкого спектру палив та відходів в якості палива; – широкий діапазон регулювання потужності;	– наявність постачання води; – комплекс ХВО; – необхідність очистки генераторного газу;
Газогенератор + поршневий двигун + електрогенератор	– мобільність комплексу; – порівняно високий ККД (>30%); – *не має альтернативи для малої (менше 1 МВт) потужності*	– необхідність якісного очищення генераторного газу від смол; – недостатній досвід використання

Таблиця 4

Потенціал біомаси в Україні [15]

Вид біомаси	Енергетичний потенціал, млн т у.п.		
	Теоретичний	Технічний	Економічний
Солома зернових культур	10.39	5.21	1.34
Солома ріпаку	1.07	0.75	0.75
Відходи виробництва кукурудзи на зерно (стебла, листя, стрижні початків)	5.7	3.99	2.79
Відходи виробництва соняшнику (стебла, кошики, лушпиння)	4.27	2.86	2.86
Деревна біомаса	2.13	1.66	1.48
Біодизель	0.50	0.50	0.25
Біоетанол	2.33	2.33	0.86
Біогаз з гною	3.27	2.45	0.76
Біогаз з полігонів ТПВ	0.77	0.46	0.26
Біогаз стічних вод	0.21	0.13	0.09
Енергетичні культури – тополь, міскантус, акація, вільха, верба – кукурудза (біогаз)	14.58 1.59	12.39 1.11	12.39 1.11
Всього	**46.81**	**33.84**	**24.94**

газифікації біосировини та проведено її випробування з позитивним результатом. Газифікації піддавали рапсову солому та деревинні пелети. Основні результати представлені у табл. 5.

Дослідження проводились в інтервалі температур 280...450 °С. Визначено, що склад та теплотворна спроможність газу піролізу залежить від параметрів процесу — температури у реакційній зоні та витрати повітря. З таблиці видно, що вміст метану у пірогазі в межах досліджуваних параметрів становив 6–10%, водню та CO — 11–15%; нижча теплота згоряння — 5,0–9,2 МДж/м^3. Пірогаз подавався у двигун внутрішнього згоряння, який використовувався як привід електрогенератора. Такий газ може бути використаний як паливо у різних технологічних процесах та установках. Технологію рекомендовано для використання в установках децентралізованого виробництва електроенергії та процесах переробки мулів стічних вод.

Таблиця 5

Результати окислювального піролізу біомаси

Параметр	Рапсова солома		Деревинні пелети	
	Дослід 1	Дослід 2	Дослід 1	Дослід 2
H_2	15,6	11,41	17,09	18,84
N_2	49,91	44,31	38,81	33,55
CO	11,15	11,46	15,57	19,59
CH_4	6,67	9,14	10,75	8,78
CO_2	13,39	19,72	14,17	15,48
C_2H_4	0,87	1,04	0,85	0,71
C_2H_6	0,55	0,67	0,64	0,71
H_2O	1,74	1,47	1,46	1,61
Теплота згоряння вища, ккал/м^3 нижча, ккал/м^3	 1558 1433	 1867 1719	 2197 2023	 2197 2033
Витрата повітря, м^3/год	45	50	60	65
Витрата пірогазу, м^3/год	71	89	122	153
Теплова потужність, кВт	118,7	178,2	287,3	361,8

Підсумки: 1) автономне виробництво електричної і теплової енергії поширене в Європі і США у вигляді CHP на природному газі і в меншій мірі на відходах; 2) автономне виробництво електроенергії буде поширюватись як наслідок збільшення частки ВДЕ у загальному виробництві енергії; 3) на сьогоднішньому етапі розвитку енергетичних технологій виробництво електроенергії з використанням ВДЕ, комбіноване виробництво (CHP) і на природному газі, на біопаливі і на відходах за незначними виключеннями є економічно збитковим і дотується з державних бюджетів. Підставою для прийняття рішень про використання вищезазначених джерел є міркування про збереження клімату або ліквідаційна необхідність у випадку небезпечних відходів (ТПВ, мулів стічних вод, медичних відходів). 4) економічно виправданим може бути виробництво енергії на основі використання недорогих відходів сільського та лісного господарства, які не потребують спеціальної підготовки та використання складних очисних систем продуктів згоряння, на основі нових енергетичних технологій. Однією з таких технологій є газифікація відходів шляхом окислювального піролізу. Перевагою такої технології є можливість використання як приводу електрогенератора поршневого газового двигуна, що забезпечує достатньо високий ККД перетворення енергії при невеликих потужностях, а також ефективне використання вторинних ресурсів та коксозольного залишку. В Інституті газу розроблено оригінальну установку автономної генерації електроенергії на основі газифікації біосировини та проведено її випробування з позитивним результатом.

Література

1. Ross K. New chapter in the 21th century energy story/ PEI. — December 2015. — pp. 4–7.

2. Fortum Pairs Energy Storage with Biomass Plant in Finland / Renewable Energy World. — 2017. — March 10.

3. Германия переходит на уголь / http://expert.ru/2013/04/26/izlom-energeticheskogo-povorota/?n=171.

4. Кондов Д. Перемога по-немецки: об «успехах» возобновляемых источников в электроэнергетике / Однако. — Август 31. — 2014.

5. Poser H., Altman J., Egg F., Granata A., Board R. Development and Integration of Renewable Energy. Lessons Learned From Germany / A. G. Finadvice. — June 2014. — P. 80.

6. Hansen T. Microgrids in the New Energy World //Renewable Energy World. — Dec.15. — 2016. — pp. 6–9.

7. Клименко В. Н., Мазур А. И., Сабашук П. П. Когенерационные системы с тепловыми двигателями. Справочное пособие в 3-х частях. Часть 1. Общие вопросы когенерационных технологий / К. — ИПЦ Алкон НАН Украины. — 2008. — С. 559.

8. Williams D. German Bundestag approves changes to CHP bill / Decentralized Energy Magazine. — Dec.20. — 2016. — P. 10.

9. Williams D. Denmark's largest coal plant fully converts to biomass / Decentralized Energy Magazine. — Dec.13. — 2016. — P. 8.

10. Shankleman J. UK's Biggest Coal Station Now Runs Mainly on Biomass / Renewable Energy News. — Aug. 5. — 2016.

11. Карп И. Н., Никитин Е. Е., Пьяных К. Е. Направления замещения природного газа альтернативными видами топлива и энергии в промышленности и коммунальной энергетике / Энерготехнологии и ресурсосбережение. — 2009. — № 4. — С. 16–25.

12. Інформація CEWEP — Confederation of European Waste to Energy Plants / http://www.cewep.eu/information/energy-climate/index.html.

13. Lane J. Waste-to-Energy: The Carbon Negative Power Machine / Renewable Energy News. — Dec. 19. — 2016. — p.p. 16–18.

14. Дубинин А. М., Черепанова Е. В., Тупоногов Г. В., Обожин О. А. Мини-ТЭЦ на базе обращенного газогенератора / Теплоэнергетика. — 2010. — № 6. — с. 29–32.

15. Geletukha G. G., Zhelyezna T. A., Zhovmir M. M., MatveevYu.B. Drozdova E. I. «Assessment of potential of biomass energy in Ukraine — PART 1: Agricultural waste and wood biomass» / Prom. Thermo. — 2010. — V. 32. — № 6.