

УДК 620.92

## ЕНЕРГЕТИЧНИЙ ТА ЕКОЛОГІЧНИЙ АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЙ ВИРОБНИЦТВА ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ З ТВЕРДОЇ БІОМАСИ. ЧАСТИНА 1

Гелетуха Г.Г., канд. техн. наук, Желєзна Т.А., канд. техн. наук, Баштовий А.І., канд. техн. наук

*Інститут технічної теплофізики НАН України, вул. Желябова, 2а, Київ, 03680, Україна*

Проаналізовано сучасний стан та перспективи розвитку виробництва електроенергії з біомаси в Україні. Розглянуто підходи до вибору парових турбін для проектів ТЕЦ на біомасі в комунальному теплопостачанні. Представлено результати енергетичного аналізу життєвого циклу комбінованого виробництва теплової та електричної енергії з твердої біомаси.

Проанализировано современное состояние и перспективы развития производства электроэнергии из биомассы в Украине. Рассмотрены подходы к выбору паровых турбин для проектов ТЭЦ на биомассе в коммунальном теплоснабжении. Представлены результаты энергетического анализа жизненного цикла комбинированного производства тепловой и электрической энергии из твердой биомассы.

State-of-the-art and prospects for the development of power production from biomass in Ukraine are analyzed. Main approaches to choosing steam turbines for the commercial projects on biomass CHP plants for public heat supply are considered. The paper presents some results of energy analysis of the life cycle of combined heat and power production from solid biomass.

Бібл. 6, табл. 5.

**Ключові слова:** біомаса, біопаливо, тверде біопаливо, теплоелектроцентрально, теплоелектростанція, життєвий цикл.

ВДЕ – відновлювані джерела енергії;  
ГВП – гаряче водопостачання;  
ККД – коефіцієнт корисної дії;  
КТ – конденсаційна турбіна;  
ПТ – турбіна з протитиском;  
ТЕС – теплова електростанція;  
ТЕЦ – теплоелектроцентрально;  
e/e – електроенергія;  
CED – показник сукупних витрат енергії;

ced – безрозмірний показник сукупних витрат енергії;  
EУС – коефіцієнт перетворення енергії;  
η – коефіцієнт використання палива.

**Нижній індекс:**

t – тепловий;  
e – електричний;  
NR – невідновлюваний.

**Стан виробництва електроенергії з твердої біомаси в Україні**

За даними офіційного Енергетичного балансу України за 2015 рік [1], частка відновлюваних джерел енергії у структурі загального виробництва електроенергії складала 5,6 %, у тому числі біопалива – лише близько 0,1 %, або 1,7 % обсягу електроенергії,

отриманої з усіх ВДЕ (табл. 1). Протягом останніх років спостерігається певний ріст обсягів виробництва електроенергії з біомаси в Україні, головним чином, у режимі комбінованого виробництва з тепловою енергією. З 2012 по 2015 рр. цей обсяг збільшився з 18,5 до 134 ГВт·год/рік [2].

Табл. 1. Структура виробництва електроенергії з відновлюваних джерел в Україні [1, 3]

Вид ВДЕ	Частка у виробництві електроенергії з ВДЕ		
	2013 р.	2014 р.	2015 р.
Гідроенергія	91,7 %	84,6 %	80,3 %
Біопаливо	0,6 %	1,2 %	1,7 %
Сонячна енергія	3,6 %	3,9 %	5,5 %
Вітрова енергія	4,1 %	10,3 %	12,5 %
	Частка у загальному виробництві електроенергії		
	2013 р.	2014 р.	2015 р.
Всі ВДЕ	8,1 %	6 %	5,6 %

Наразі в Україні працює дуже обмежена кількість ТЕЦ та ТЕС на твердій біомасі (загалом шість об'єктів на грудень 2016 року), але існують плани по будівництву

ряду нових установок. Інформація по існуючим ТЕЦ/ТЕС, а також деяким новим проектам представлена в табл. 2. З даних таблиці видно, що з шести ТЕЦ/ТЕС

на твердій біомасі, працюючих в Україні, три використують в якості палива деревину. З огляду на структуру потенціалу біомаси в Україні (обмежена кількість деревної біомаси, великий потенціал побічної продукції сільського господарства, наявність вільних земель для вирощування енергетичних культур), на перспективу можна рекомендувати активніше використовувати

агробіомасу (наприклад, солом, стебла кукурудзи) та енергокультури як паливо для ТЕЦ. Видається, що подальший розвиток генерації електроенергії з біомаси має бути пов'язаний з будівництвом, головним чином, ТЕЦ, оскільки це ефективніше, ніж роздільне виробництво теплової та електричної енергії.

Табл. 2. Існуючі та заплановані установки з виробництва електроенергії з твердої біомаси в Україні (вибрані приклади)

№	Енергогенеруюча/будівельна компанія, місце розташування установки/ проекту, статус	Вид установки, потужність	Вид біомаси
<i>Існуючі установки</i>			
1	ТОВ «Біогазэнерго» смт Іванково, Київська обл.	ТЕС 18 МВт <sub>е</sub>	деревна біомаса
2	ТОВ «АПК «Свгройл», м. Миколаїв	ТЕЦ 5 МВт <sub>е</sub>	лушпиння соняшника (основне паливо) та деревна тріска
3	ПАТ «Кіровоградолія», м. Кропивницький	ТЕЦ 1,7 МВт <sub>е</sub> + 33,6 МВт <sub>т</sub>	лушпиння соняшника
4	ТОВ «Комбінат Каргілл», м. Донецьк	ТЕЦ 2 МВт <sub>е</sub> + 15 МВт <sub>т</sub>	лушпиння соняшника
5	ТОВ «Смілаенергопромтранс» м. Сміла, Черкаська обл.	ТЕЦ 8,5 МВт <sub>е</sub> + 10 МВт <sub>т</sub>	деревна біомаса
6	ТОВ «Кліар Енерджи», м. Корюківка, Чернігівська обл.	ТЕС 3,5 МВт <sub>е</sub>	деревна біомаса
<i>Проекти</i>			
1	ТОВ «Універсальна Девелоперська Група», м. Умань, Черкаська обл. (25.10.2016 р. підписано 3-сторонній меморандум про співробітництво)	ТЕЦ 7 МВт <sub>е</sub> + 16 МВт <sub>т</sub>	нема даних
3	“EIG Engineering”, м. Городня, Чернігівська обл. (січень 2016 р.: оформлення документів по відведенню землі)	ТЕС	нема даних
4	“Daewon GSI” (Південна Корея), Запорізька обл. (липень 2016 р.: підписано меморандум про взаєморозуміння; початок будівництва планується на 2017 р.)	ТЕС 10 МВт <sub>е</sub>	лушпайка зерна
5	ПАТ «Київенерго», сміттєспалювальний завод «Енергія», м. Київ	(встановлення турбіни заплановано на 2017–2018 рр.) в результаті чого завод буде працювати в режимі ТЕЦ	тверді побутові відходи
6	«Маст-Іпра», Харківська обл. встановлення турбіни до 4 МВт <sub>е</sub> , (липень 2016 р.: підписано меморандум про взаєморозуміння)	2 ТЕЦ по 6 МВт <sub>е</sub> кожна	деревна біомаса

**Підходи до вибору парових турбін для проектів ТЕЦ на біомасі в комунальному теплопостачанні**

Одним з важливих секторів роботи ТЕЦ є комунальне теплопостачання. В роботі [4] детально розглянуто особливості вибору типу та потужності парових турбін в проектах ТЕЦ на біомасі в умовах комунального теплопостачання, запропоновано підходи для

техніко-економічної оцінки таких проектів, розроблено методику попереднього відбору найбільш ефективних варіантів.

Зазвичай, основними критеріями вибору того чи іншого варіанту у комерційних проектах ТЕЦ на біомасі є забезпечення максимального прибутку від продажу теплової та електричної енергії. Це відповідає певній

комбінації ряду чинників, які включають вартість теплової та електричної енергії, електричний ККД, коефіцієнт використання палива ТЕЦ та ін. Обмежувачим фактором при цьому є доступна кількість паливної біомаси. Значний вплив на економічну ефективність тих чи інших варіантів впровадження ТЕЦ на твердій біомасі у комунальному теплопостачанні справляють тип турбіни, що застосовується (турбіна з протитиском чи конденсаційна з теплофікаційним відбором), параметри пари на турбіну та пари, що відпускається з відбору турбіни чи протитиску, а також тарифи на тепло та електричну енергію, за якими вони можуть бути реалізовані споживачам.

Для турбін з протитиском характерна жорстка залежність між виробництвом електричної та теплової енергії і високі значення коефіцієнту використання палива ТЕЦ. Конденсаційні турбіни з теплофікаційним відбором мають вищі значення електричного ККД та можливість збільшувати виробництво дорожчого виду енергії – електроенергії за «зеленим» тарифом, незалежно від потреби споживачів у тепловій енергії. Але при цьому падає  $\eta$  та, відповідно, зростає витрата паливної біомаси. На практиці, при обґрунтуванні впровадження ТЕЦ на біомасі в умовах певної території постає необхідність вибору між турбіною з протитиском та конденсаційною турбіною з теплофікаційним відбором, а також вибору необхідної потужності турбіни.

Для конденсаційних турбін авторами [4] визначено співвідношення між коефіцієнтом використання палива та відношенням номінальної витрати пари у відбір турбіни до витрати у конденсаційному режимі при різних значеннях номінальної потужності турбін. При зміні частки витрати пари у конденсаційному режимі від 0,25 до 1,  $\eta$  зростає з 30...34 % до 50...60 %. Для турбін з протитиском величина  $\eta$  майже не змінюється у залежності від навантаження і становить близько 80...85 %.

Вид турбіни має вплив також на енергетичні показники життєвого циклу комбінованого виробництва теплової та електричної енергії з твердої біомаси, оскільки для турбіни з протитиском та конденсаційної турбіни з теплофікаційним відбором характерні різні коефіцієнти використання палива. Ці коефіцієнти використовуються в енергетичній оцінці зазначеного життєвого циклу.

#### Оцінка енергетичної ефективності роботи ТЕЦ на твердій біомасі

Методика оцінки енергетичної ефективності, що базується на використанні показника сукупних витрат енергії ( $CE_D$ ,  $CE_{D, NR}$ ) та коефіцієнту перетворення енергії ( $E_{YC}$ ,  $E_{YC, NR}$ ), детально описана у роботі [5]. Тому у даній статті буде зазначено лише особливості, які стосуються проведення енергетичної оцінки життєвого циклу виробництва електричної енергії з твердої біомаси (в режимі комбінованого виробництва з тепловою енергією та окремо).

Виконаємо розрахунок енергетичної ефективності технології комбінованого виробництва теплової та електричної енергії на прикладі ТЕЦ встановленою потужністю 6 МВт<sub>е</sub> + 20 МВт<sub>т</sub>. ТЕЦ такої потужності може застосовуватися у централізованому теплопостачанні для забезпечення теплового навантаження 20 МВт у зимовий період (опалення, ГВП) та 7 МВт у літній період (ГВП). Оцінку проведемо для двох видів турбін (конденсаційна турбіна з відбором пари та турбіна з протитиском), а також для двох видів твердого біопалива (солома та деревна тріска).

Технічні характеристики ТЕЦ представлено у табл. 3. З наведених даних видно, що при використанні конденсаційної турбіни витрата біопалива більше, ніж у випадку турбіни з протитиском. Це в свою чергу впливає на результати оцінки сукупних витрат енергії протягом життєвого циклу комбінованого виробництва теплової та електричної енергії.

Табл. 3. Технічні характеристики ТЕЦ на соломі та на деревній біомасі

Параметри	КТ	ПТ
Потужність електрична, МВт <sub>е</sub>	6	6
Потужність тепла, МВт <sub>т</sub>	20	20
Період роботи, год/рік	8000	8000
Номінальне навантаження	90 %	90 %
Коефіцієнт використання палива $\eta$	65 %	80 %
Витрата біопалива, т/рік		
- солома	44330	36018
- деревна тріска	62063	56029
Виробництво теплової енергії, ГДж/рік	247795	247795
Виробництво електроенергії, МВт·год/рік	43200	43200
Споживання електроенергії на власні потреби, МВт·год/рік	6480	6480

Енергетичний аналіз полягає у визначенні сумарних витрат енергії, пов'язаних з роботою ТЕЦ, та їх порівнянні з енергією «на виході», тобто з тепловою та електричною енергією, відпущеною споживачу. Згідно обраної методики та меж життєвого циклу, енергія «на виході» для ТЕЦ на соломі розраховується за такими основними складовими:

- спожите паливо (солома);
- витрати енергії на виготовлення тюків з соломи (тюкування);
- витрати енергії на транспортування соломи з поля до основного складу та звідти до оперативного складу ТЕЦ, а також на вивіз золи (енергоємності пального, транспортного засобу та праці людини);
- електроенергія на власні потреби ТЕЦ, включаючи подрібнення соломи;
- витрати енергії на підтримку дієздатності установки (поточні, капітальні та аварійні ремонти, заміна зношених частин), а також на обслуговування ТЕЦ персоналом;
- всі операції збору, завантаження-розвантаження, складування та зберігання соломи (перераховані на рік роботи);
- витрати енергії на виготовлення обладнання ТЕЦ, її спорудження та на утилізацію обладнання після закінчення терміну експлуатації.

Аналіз складових витрат первинної енергії протягом життєвого циклу комбінованого виробництва теплової та електричної енергії з соломи показує, що найбільшою складовою «вхідної» енергії є хімічна енергія палива (соломи) – близько 80 %. Всі інші складові – на 1...3 порядки нижчі.

При розгляданні структури витрат тільки невідновлюваної енергії (тобто без врахування споживання біопалива ТЕЦ) можливі два варіанти: 1 – ТЕЦ споживає на власні потреби покупну електроенергію (не з ВДЕ), 2 – ТЕЦ споживає на власні потреби частину виробленої електроенергії (з біомаси). У другому варіанті обсяг електроенергії на власні потреби не включається до показника сукупних витрат невідновлюваної енергії ( $CE_{NR}$ ), а обсяг енергії «на виході» зменшується на величину споживання електроенергії на власні потреби ТЕЦ. Якщо ТЕЦ продає вироблену електроенергію по «зеленому» тарифу, то наразі більш пріоритетним та реалістичним можна вважати 2-й варіант. Це пояснюється тим, що згідно положень чинного законодавства, до оптового ринку електроенергії по «зеленому» тарифу можна продати обсяг виробленої з ВДЕ електроенергії за вирахуванням обсягу витрат електричної енергії на власні потреби відповідного об'єкта електроенергетики (Стаття 15 Закону України «Про електроенергетику»). До введення цього положення об'єкти електроенергетики віддавали перевагу першому варіанту. З точки зору енергетичної оцінки представляє інтерес розгляд обох варіантів споживання електроенергії на власні потреби ТЕЦ.

Аналізуючи варіант споживання покупної електроенергії на власні потреби, видно, що в межах транспортування соломи до 50 км основними складо-

вими є споживання енергії на власні потреби ТЕЦ і на обслуговування (близько 60 %), а також енерговитрати на операції збору, завантаження-розвантаження, складування та зберігання соломи (30 %). При відстані транспортування більше 50 км вагомий вплив мають також витрати енергії на перевезення соломи та вивіз золи. Саме на вказані складові треба звертати першочергову увагу з метою зменшення загальних витрат первинної енергії протягом життєвого циклу комбінованого виробництва теплової та електричної енергії з соломи.

Згідно даних роботи [6], рекомендований діапазон для показника  $ced$ , який являє собою відношення річного обсягу сукупних витрат енергії на роботу установки до річного обсягу виробництва енергії установкою, становить 1,32...1,56. Для оберненої величини (коефіцієнт перетворення енергії  $EYC$ ) – відповідно, 0,64...0,76. Для аналогічних показників, які враховують тільки витрати невідновлюваної енергії (тобто без врахування споживання біопалива та інших ВДЕ/енергії з ВДЕ), рекомендовані діапазони значень:  $ced_{NR} < 0,2$ ,  $EYC_{NR} > 5$ , а допустимі:  $ced_{NR} < 0,5$ ,  $EYC_{NR} > 2$ .

Аналіз результатів енергетичної оцінки технології комбінованого виробництва теплової та електричної енергії з соломи свідчить про те, що в діапазоні відстані транспортування соломи та вивозу золи до 100 км показники роботи ТЕЦ з турбіною з протитиском практично відповідають рекомендованим значенням  $ced$  та  $EYC$ , а також допустимим значенням  $ced_{NR}$  та  $EYC_{NR}$ . Показники роботи ТЕЦ з конденсаційною турбіною в розглянутому діапазоні перевезення соломи/золи відповідають тільки допустимим значенням  $ced_{NR}$  та  $EYC_{NR}$  і є дещо гіршими, ніж для ТЕЦ з ПТ.

У випадку споживання частини виробленої електроенергії (з біомаси) на власні потреби ТЕЦ структура витрат невідновлюваної енергії суттєво відрізняється від попереднього варіанту. Основними складовими є витрати енергії на операції завантаження/розвантаження, складування, зберігання соломи (73 %), а також витрати енергії на транспортування соломи та вивіз золи (19 %). При збільшенні відстані транспортування зростає внесок останньої складової.

Результати енергетичного аналізу у даному випадку є значно кращими по показникам, які враховують споживання тільки невідновлюваної енергії (табл. 4). Показники роботи ТЕЦ з турбіною з протитиском відповідають рекомендованим значенням  $ced_{NR}$  і  $EYC_{NR}$  у діапазоні відстані транспортування соломи/золи до 150 км та допустимим значенням – при транспортуванні до близько 600 км. Показники роботи ТЕЦ з конденсаційною турбіною відповідають рекомендованим значенням  $ced_{NR}$  і  $EYC_{NR}$  у діапазоні відстані перевезення соломи/золи до 100 км та допустимим значенням – поза цим діапазоном (до 500 км).

Далі розглянемо комбіноване виробництво теплової та електричної енергії з деревної тріски на ТЕЦ такої ж потужності, як у попередньому випадку (див. табл. 3). Аналіз результатів варіанту роботи ТЕЦ з покупною електроенергією на власні потреби свідчить про те, що у діапазоні відстані транспортування соломи/золи до



150 км показники роботи ТЕЦ з турбіною з протитиском практично відповідають рекомендованим значенням  $ced$  та  $EUC$ , а також допустимим значенням  $ced_{NR}$  та  $EUC_{NR}$ . Показники роботи ТЕЦ з конденсаційною турбіною у розглянутому діапазоні перевезення соломи/золи відповідають тільки допустимим значенням  $ced_{NR}$  та  $EUC_{NR}$  і є дещо гіршими, ніж для ТЕЦ з ПТ.

Результати енергетичного аналізу варіанту роботи

ТЕЦ на деревині з використанням частини виробленої «зеленої» електроенергії на власні потреби є значно кращими по показникам, які враховують споживання тільки невідновлюваної енергії. У діапазоні відстані транспортування соломи/золи до 150...200 км показники роботи ТЕЦ з турбіною з протитиском, а також з конденсаційною турбіною відповідають рекомендованим значенням  $ced_{NR}$  та  $EUC_{NR}$  (табл. 5).

Табл. 4. Витрати первинної енергії протягом життєвого циклу комбінованого виробництва теплової та електричної енергії з соломи

Етап життєвого циклу	Витрати первинної енергії, ГДж/рік									
	ТЕЦ з конденсаційною турбіною					ТЕЦ з турбіною з протитиском				
1. Споживання соломи	620626					504259				
2. Тюкування соломи	2813					2286				
3. Всі операції збору, складування, завантаження/розвантаження, зберігання соломи	43222					35118				
4. Робота ТЕЦ: (4,а) е/е на власні потреби (4,б) обслуговування; ремонт	77166 352					75819 352				
5. Спорудження ТЕЦ	946					946				
6. Демонтаж, утилізація обладнання ТЕЦ	118					118				
7. Транспортування соломи, вивіз золи на місце утилізації <sup>1)</sup>	Відстань транспортування біопалива/золи, км									
	0		10		50		100		150	
	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II
	0	0	2289	1860	11446	9300	22892	18600	34339	27900
SED: Енергія «на вході» (сума позицій 1-7)	745244	618898	747533	620758	756690	628198	768136	637498	779582	646798
$ced^2)$ : Енергія «на вході» / Енергія «на виході»	1,97	1,64	1,98	1,64	2,00	1,66	2,03	1,69	2,06	1,71
$EUC^2)=1/ced$ : Енергія «на виході» / Енергія «на вході»	0,51	0,61	0,51	0,61	0,50	0,60	0,49	0,59	0,48	0,58
$SED_{NR}$ : Енергія «на вході» <sup>3)</sup> (сума позицій 2-7 мінус поз. 4,а)	47452	38820	49741	40680	58898	48120	70344	57420	81790	66720
$ced_{NR}^2)$ : Енергія «на вході» <sup>3)</sup> / Енергія «на виході»	0,13	0,10	0,13	0,11	0,16	0,13	0,19	0,15	0,22	0,18
$EUC_{NR}^2)=1/ced_{NR}$ : Енергія «на виході»/Енергія «на вході» <sup>3)</sup>	<b>7,96</b>	<b>9,74</b>	<b>7,59</b>	<b>9,30</b>	<b>6,41</b>	<b>7,86</b>	<b>5,37</b>	<b>6,59</b>	<b>4,62</b>	<b>5,67</b>

1) Вантажопідйомність транспортного засобу по деревній трісці – 22,4 т, по золі – 6,6 т. Вважається, що зола вивозиться у той ліс, де було зібрано відходи лісозаготівлі.

2) Безрозмірний показник.

3) Враховуються витрати тільки невідновлюваної енергії (тобто без споживання біопалива та е/е на власні потреби ТЕЦ).

### Висновки

Протягом останніх років спостерігається певний ріст обсягів виробництва електроенергії з біомаси в Україні, головним чином, в режимі комбінованого виробництва з тепловою енергією. З 2012 по 2015 рр. цей обсяг збільшився з 18,5 до 134 ГВт-год/рік. Наразі в Україні працює дуже обмежена кількість ТЕЦ та ТЕС на твердій біомасі, але існує багато планів по будівництву

ряду нових установок.

Зазвичай, основними критеріями вибору того чи іншого варіанту у комерційних проектах ТЕЦ на біомасі є забезпечення максимального прибутку від продажу теплової та електричної енергії, що відповідає певній комбінації таких чинників, як вартість теплової та електричної енергії, електричний ККД, коефіцієнт використання палива ТЕЦ. Обмежуючим фактором при цьому є доступна кількість паливної біомаси.

Одним з чинників, що мають значний вплив на економічну ефективність тих чи інших варіантів впровадження ТЕЦ на твердій біомасі у комунальному теплопостачанні, є тип турбіни, що застосовується (турбіна з протитиском чи конденсаційна з теплофікаційним відбором). Тип турбіни має вплив також на енергетичну ефективність роботи обладнання, оскільки для різних турбін характерні різні коефіцієнти використання палива.

Результати енергетичної оцінки життєвого циклу комбінованого виробництва теплової та електричної енергії з твердої біомаси (варіант споживання частини виробленої «зеленої» електроенергії на власні потреби) показують, що у діапазоні відстані транспортування біопалива та вивозу золи до 100...150 км показники роботи ТЕЦ відповідають рекомендованим значенням  $ced_{NR}$  та  $EUC_{NR}$ . Поза цим діапазоном (до 500...600 км) дані показники відповідають допустимим значенням.

Табл. 5. Витрати первинної енергії протягом життєвого циклу комбінованого виробництва теплової та електричної енергії з деревної біомаси

Етап життєвого циклу	Витрати первинної енергії, ГДж/рік									
	ТЕЦ з конденсаційною турбіною					ТЕЦ з турбіною з протитиском				
1. Споживання деревної тріски	620626					504259				
2. Подрібнення відходів лісозаготівлі	6159					7408				
3. Всі операції збору, складування, завантаження/розвантаження, зберігання деревного палива	26124					21245				
4. Робота ТЕЦ: (4,а) е/е на власні потреби (4,б) обслуговування; ремонту	69984 352					69984 352				
5. Спорудження ТЕЦ (виготовлення обладнання, будівельно-монтажні роботи)	946					946				
6. Демонтаж, утилізація обладнання ТЕЦ	118					118				
7. Транспортування деревної тріски, вивіз золи на місце утилізації <sup>1)</sup>	Відстань транспортування біопалива/золи, км									
	0		10		50		100		150	
	КТ	ПТ	КТ	ПТ	КТ	ПТ	КТ	ПТ	КТ	ПТ
	0	0	2507	2037	12537	10186	25074	20373	37611	30559
СЕД: Енергія «на вході» (сума позицій 1-7)	727269	604312	729776	606349	739806	628198	614498	624685	744880	634871
$ced^2)$ : Енергія «на вході» / Енергія «на виході»	1,91	1,59	1,92	1,60	1,95	1,62	1,98	1,64	2,01	1,67
$EUC^2)=1/ced$ : Енергія «на виході» / Енергія «на вході»	0,52	0,63	0,52	0,63	0,51	0,62	0,51	0,61	0,50	0,60
$SED_{NR}$ : Енергія «на вході» <sup>3)</sup> (сума позицій 2-7 мінус поз. 4,а)	36658	30069	39166	32107	49195	40256	61732	50442	74269	60628
$ced_{NR}^2)$ : Енергія «на вході» <sup>3)</sup> / Енергія «на виході»	0,10	0,08	0,10	0,08	0,13	0,11	0,16	0,13	0,20	0,16
$EUC_{NR}^2)=1/ced_{NR}$ : Енергія «на виході»/Енергія «на вході» <sup>3)</sup>	<b>10,37</b>	<b>12,64</b>	<b>9,70</b>	<b>11,84</b>	<b>7,73</b>	<b>9,44</b>	<b>6,16</b>	<b>7,53</b>	<b>5,12</b>	<b>6,27</b>

1) Вантажопідйомність транспортного засобу по деревній трісці – 22,4 т, по золі – 6,6 т. Вважається, що зола вивозиться у той ліс, де було зібрано відходи лісозаготівлі.

2) Безрозмірний показник.

3) Враховуються витрати тільки невідновлюваної енергії (тобто без споживання біопалива та е/е на власні потреби ТЕЦ).

ЛІТЕРАТУРА

1. Енергетичний баланс України за 2015 рік. Експрес-випуск Державної служби статистики України № 455/0/08.4 вн-16 від 20.12.2016.

2. Українська Асоціація відновлюваної енергетики <http://uare.com.ua/dinamika-rozvitku-sektoru/324-faktichni-obsyagi-virobnitstva-elektrichnoji-energiji-z-energiji-biomasi-2012-2015.html>

3. *Енергетичний баланс України за 2014 рік*. Експрес-випуск Державної служби статистики України № 562/0/08.4.2 вн-15 від 21.12.2015.

4. *Гелетуха Г.Г., Крамар В.Г.* Методика попередньої техніко-економічної оцінки та вибору парових турбін для проектів ТЕЦ на біомасі в комунальному теплопостачанні. Частина 1 // *Промислова теплотехніка*. – 2014, т. 36, № 1, с. 66–73.

5. *Гелетуха Г.Г., Железна Т.А., Дроздова О.І.*

Комплексний аналіз технологій виробництва енергії з біомаси // *Промислова теплотехніка*. – 2012, т. 34, № 1, с.87–95.

6. *T. Nussbaumer, M. Oser.* Evaluation of biomass combustion based energy systems by cumulative energy demand and energy yield coefficient. Report for International Energy Agency and Swiss Federal Office of Energy, 2004.

## ENERGY AND ECOLOGY ANALYSIS OF TECHNOLOGIES FOR POWER PRODUCTION FROM BIOMASS. PART 1

**Geletukha G.G., Zheliezna T.A., Bashtovyi A.I.**

Institute of Engineering Thermophysics of the National Academy of Sciences of Ukraine,  
vul. Zhelyabova, 2a, Kyiv, 03680, Ukraine

State-of-the-art and prospects for the development of power production from biomass in Ukraine are analyzed. It is shown that power production from biomass has been growing recently, mostly in the mode of combined heat and power production. Now, there are few CHP plants and thermal power plants running on solid biomass in Ukraine, though the construction of a lot of new plants is planned. Main approaches for choosing steam turbines for the commercial projects on biomass CHP plants for public heat supply are considered. A turbine type is one of the factors that affect feasibility of the projects in the public heat supply sector. For practical purposes, one has to decide between a condensing turbine and a back-pressure turbine and also to select a proper turbine capacity. The turbine type also influences energy efficiency of the plant as different turbines have different fuel utilization factor. The paper presents some results of energy analysis of the life cycle of combined heat and power production from solid biomass. Energy assessment of the option of consumption of the produced renewable power for own needs of the plant, shows that the specific cumulative energy demand and energy yield coefficient (both related to non-renewable energy) are within the recommended range of values for the biofuel/ash transportation distance of up to 100...150 km and within the allowed range of values for the transportation distance of up to 500...600 km.

References 6, tables 5.

**Key words:** biomass, biofuel, solid biofuel, combined heat and power plant, thermal power plant, life cycle

1. *Enerhetychnyi balans Ukrainy za 2015 rik*. Ekspres-vypusk Derzhavnoi sluzhby statystyky Ukrainy № 455/0/08.4 vn-16 vid 20.12.2016 [Energy balance of Ukraine for 2015. Express-issue by State Statistics Service of Ukraine № 455/0/08.4 vn-16 of 20.12.2016]. (Ukr.)

2. *Ukrainian Association of Renewable Energy*. <http://uare.com.ua/en/dynamics-of-renewable-energy-sector-development.html>

3. *Enerhetychnyi balans Ukrainy za 2014 rik*. Ekspres-vypusk Derzhavnoi sluzhby statystyky Ukrainy № 562/0/08.4.2 vn-15 vid 21.12.2015. [Energy balance of Ukraine for 2014. Express-issue by State Statistics Service of Ukraine № 562/0/08.2 vn-115 of 21.12.2015]. (Ukr.)

4. *Geletukha G.G., Kramar V.G.* Metodyka poperednoi tekhniko-ekonomichnoi otsinky ta vyboru parovykh turbin dlia proektiv TETS na biomasi v komunalnomu teplopochachanni. Chastyna 1 [Methods of preliminary technical and economic evaluation and selection of steam turbines for biomass CHP projects in municipal district heating. Part 1], *Promyshliennaia tieplotiekhnika* [Industrial Heat Engineering], 2014, V. 36, № 1, P. 66–73. (Ukr.)

5. *Geletukha G.G., Zheliezna T.A., Drozdova O.I.* Kompleksnyi analiz tekhnologii vyrobnytstva enerhii z biomasy [Complex analysis of bioenergy technologies], *Promyshliennaia tieplotiekhnika* [Industrial Heat Engineering], 2012, V. 34, № 1, P. 87–95. (Ukr.)

6. *T. Nussbaumer, M. Oser.* Evaluation of biomass combustion based energy systems by cumulative energy demand and energy yield coefficient. Report for International Energy Agency and Swiss Federal Office of Energy, 2004.

*Получено 11.01.2017*

*Received 11.01.2017*