

УДК: 620.92

ЗАСТОСУВАННЯ ТЕЦ НА БІОМАСІ ДЛЯ БАЛАНСУВАННЯ ЕНЕРГОСИСТЕМИ УКРАЇНИ

Гелету́ха Г.Г., канд. техн. наук

Інститут технічної теплофізики НАН України, вул. Марії Канніст, 2а, Київ, 03057, Україна

<https://doi.org/10.31472/ttpe.3.2020.5>

У роботі розглянуто використання ТЕЦ на біомасі для балансування енергосистеми України. Підтверджена принципова технічна можливість застосування ТЕЦ на біомасі для балансування. Запропонована технічна концепція та механізм стимулювання переведення ТЕЦ на біомасі з базового у балансувальний режим.

В работе рассмотрено использование ТЭЦ на биомассе для балансирования энергосистемы Украины. Подтверждена принципиальная техническая возможность задействования ТЭЦ на биомассе для балансирования. Предложена техническая концепция и механизм стимулирования для перевода ТЭЦ на биомассе из базового в балансирующий режим.

The work contains considerations of biomass CHP application for power grid balancing in Ukraine. The principle technical possibility for engagement of biomass CHP into grid balancing has been confirmed. The technical concept and stimulation mechanism for transition of biomass CHP from baseload to balancing regime has been proposed.

Бібл. 12, табл. 2, рис. 5.

Ключові слова: біомаса, ТЕЦ на біомасі, балансування, базовий режим, балансувальний режим енергосистема.

ВДЕ – відновлювані джерела енергії;
ТЕЦ/ТЕС – теплоелектроцентральної/теплоелектростанція;
СЕС – сонячні електростанції;
ВЕС – вітрові електростанції;
ОЕС України – об'єднана енергосистема України;
БГУ – біогазові установки;
РОУ – редуційно-охолоджувальне устаткування;
ЦТ – централізоване теплопостачання;

NPV – Net Present Value – чистий грошовий потік (техніко-економічний аналіз);
IRR – Internal Rate of Return – внутрішня норма рентабельності (техніко-економічний аналіз);
ЗТ – «зелений» тариф (на електроенергію з ВДЕ);
 $\text{МВт}_{\text{ел}}/\text{МВт}\cdot\text{год}_{\text{ел}}$, $\text{МВт}_t/\text{МВт}\cdot\text{год}_t$ – мегават/мегават-години електричної, мегават/мегават-години теплової.

Актуальність роботи обумовлена необхідністю балансування енергосистеми України через стрімкий приріст нестабільних потужностей генерації (СЕС та ВЕС) та недостатньою гнучкістю енергосистеми України для компенсації відповідних коливань потужності. Застосування ТЕЦ на біомасі до балансування енергосистеми на противагу вугільним електростанціям, які наразі використовуються для цього, вважається більш раціональним, екологічним, технічно та економічно обґрунтованим, а також сприяє виконанню цілей Енергетичної стратегії України до 2035 р., в якій передбачено ріст потужностей ТЕЦ на біомасі. **Метою** роботи є підтвердження технічної можливості застосування існуючих ТЕЦ на біомасі, що працюють в базовому режимі, для балансування енергосистеми та розробка відповідного механізму стимулювання. **Завдання** роботи полягає у визначенні умов, що забезпечують економічну доцільність роботи ТЕЦ на біомасі в балансувальних режимах. **Методи дослідження** включають вивчення статистичних та інших даних, аналіз нормативно-правових актів, техніко-економічний аналіз.

Поточний стан енергосистеми України та визначення потреби у балансуванні

Станом на січень 2020 встановлена потужність об'єктів ВДЕ, що працюють на енергомережу, становила 6,8 ГВт, з яких 6,5 ГВт – СЕС та ВЕС (92%) [1], [2]. Це вже перевищує критичну межу встановленої потужності СЕС та ВЕС, що, за даними Укренерго, безпечна для енергосистеми, і не потребує будівництва додаткових потужностей балансування [3], [4]. За даними Укренерго для забезпечення надійної роботи енергосистеми в умовах зростаючої частки ВДЕ 500 $\text{МВт}_{\text{ел}}$ нових балансувальних потужностей на природному газі мають бути побудовані вже у 2020 р.

Добове балансування існуючих потужностей ВДЕ через брак балансувальних потужностей в енергосистемі, здійснюється здебільшого вугільними електростанціями. Ці електростанції не пристосовані до роботи на змінних навантаженнях. Це спричиняє так званий «зелено-вугільний парадокс»: чим більше виробляється енергії з ВДЕ, тим більше використовується вугілля для балансування.

Станом на квітень 2020, відповідно до оперативних даних Укренерго, потреба у добовому балансуванні (тобто різниця між максимальним денним навантаженням та мінімальним нічним провалом) складає 5-6 ГВт_{ел} при вечірньому піку у 3-4 ГВт_{ел} (рис. 1).

Стрімке збільшення потреби у балансуванні вечірнього піку без достатньої гнучкості енергосистеми та наявності достатньої кількості маневрових потужностей, означає, що оператор енергосистеми, змушений в ручному режимі обмежувати відпуск електроенергії до мережі або від ВДЕ або від атомних електростанцій. Прецеденти обмеження генерації від ВДЕ вже відбуваються [6]. До кінця 2020 р. обсяг генерації ВДЕ може становити близько 7,5 ГВт. Таке зростання без впровадження маневрених потужностей призведе до обмежень виробництва ВДЕ або атомної генерації. Реальний обсяг обмежень може становити до третини загального виробництва електричної енергії з ВДЕ, яка буде невикористана, але все одно має бути оплачена виробникам ВДЕ [7].

Для кожного характерного сезону (літо-осінь-зима-весна) можна визначити, як відрізняються

профіль кривої споживання (червона лінія) та профіль відпущеної в мережу електроенергії з ВДЕ. Ця різниця у профілях і має бути покрита за рахунок балансуючих потужностей (добових). Особливо висока потреба у балансуванні знаходиться в 3-х годинних періодах, наприклад, для липня 2019, 06:00-09:00 (ранковий пік споживання та низьке виробництво електроенергії з ВДЕ) та 19:00-22:00 (вечірній пік споживання та різке зменшення виробництва електроенергії з ВДЕ). У період 09:00-19:00 виробництво з ВДЕ максимальне, а споживання – нижче ніж у ранковий і вечірній піках (хоча значно вище за нічний провал споживання), що також являє собою потребу в балансуванні. Для різних періодів року конкретні періоди балансування можуть зміщуватися в той чи інший бік, проте їх абсолютна тривалість (3 години ранкового піку та 3 години вечірнього піку) залишається незмінною. Нічний провал споживання та зменшення виробництва електроенергії з ВДЕ в цілому співпадають.

При цьому, проблема полягає саме у добовому балансуванні. Як видно з рис. 2, відповідно



Рис. 1. Графік споживання електроенергії в ОЕС України (тиждень квітня 2020) [5].



Рис. 2. Графік споживання електроенергії в ОЕС України, січень 2014 – травень 2020 (дані Укренерго.)

до оперативної інформації оператора за період 2014-2020 рр. характерний профіль сезонності навантаження в енергосистемі зберігається незмінним (крім періоду 2014 р., коли відбувся спад споживання). Для добового балансування необхідна наявність маневрених потужностей, що можуть швидко (15 хв. – 1 година, характерний час реагування для другої групи балансування) [8] забезпечити підняття або спад навантаження за наказом диспетчера. Такі вимоги по швидкості реагування на зміну навантаження можуть виконати ТЕЦ та ТЕС на біомасі та БГУ.

ТЕЦ на біомасі та біогазі як потенційні балансуєчі установки

Близько 180 МВт_{ел} потужностей на біомасі та біогазі вже працюють в енергосистемі України (квітень 2020 р), до 2035 р. ця цифра має бути збільшена до 1,7 ГВт відповідно до Енергетичної стратегії України. Частково ця потужність може бути задіяна для балансування енергосистеми, відповідно зменшуючи потребу у будівництві нових балансуєчих газових блоків та не ефективного спалювання вугілля в режимах набору-спаду потужності на вугільних електростанціях.

Одне з можливих рішень щодо стимулювання роботи ТЕЦ/ТЕС на біомасі та біогазі на ринку балансуєчих потужностей може бути так званий «трьохзонний» стимулюючий тариф на балансуєчу електрику. Цей механізм стимулювання дещо схожий із нічним тарифом на електрику – в окремі години доби (ранко-

вий та вечірній піки) для ТЕЦ/ТЕС встановлюється підвищений тариф на «балансуєчу» електрику, а в інші години, коли потреба у добовому балансуванні знижена, – понижений тариф на «базову» електрику

Такий підхід має забезпечувати рівноправність економічних показників базового та балансуєчого режимів роботи ТЕЦ на біомасі. Тобто, додаткове стимулювання роботи ТЕЦ у балансуєчому режимі має покривати всі додаткові витрати у порівнянні із альтернативою – режимом роботи ТЕЦ у базовому навантаженні, і не створювати додатковий прибуток. Таким чином, для інвестора існуватиме дві рівноправні альтернативи, і він зможе обирати між ними як рівними.

Технічна концепція переведення ТЕЦ на біомасі у режим балансування

Для детальної оцінки обох альтернатив, насамперед треба визначитися із технічними показниками (рис. 3). Як базовий варіант розглядається ТЕЦ на біомасі 3 МВт_{ел} + 20 МВт_т. Такі ТЕЦ на біомасі досить типові для умов України, деякі приклади вже впроваджені і, за потреби, можуть бути переведені з базового режиму у балансуєчий. ТЕЦ включає один котел на біомасі – 30 МВт_т, оснащена теплофікаційною турбіною з потужністю на генераторі 3 МВт_{ел} з відбором тепла 10 МВт_т.

У концепції передбачається, що корисний відпуск теплової енергії на мережу ЦТ (4000 годин на рік) здійснюється у обсязі 20 МВт_т – 10 МВт_т від теплофікаційного відбору турбіни, і 10 МВт_т від

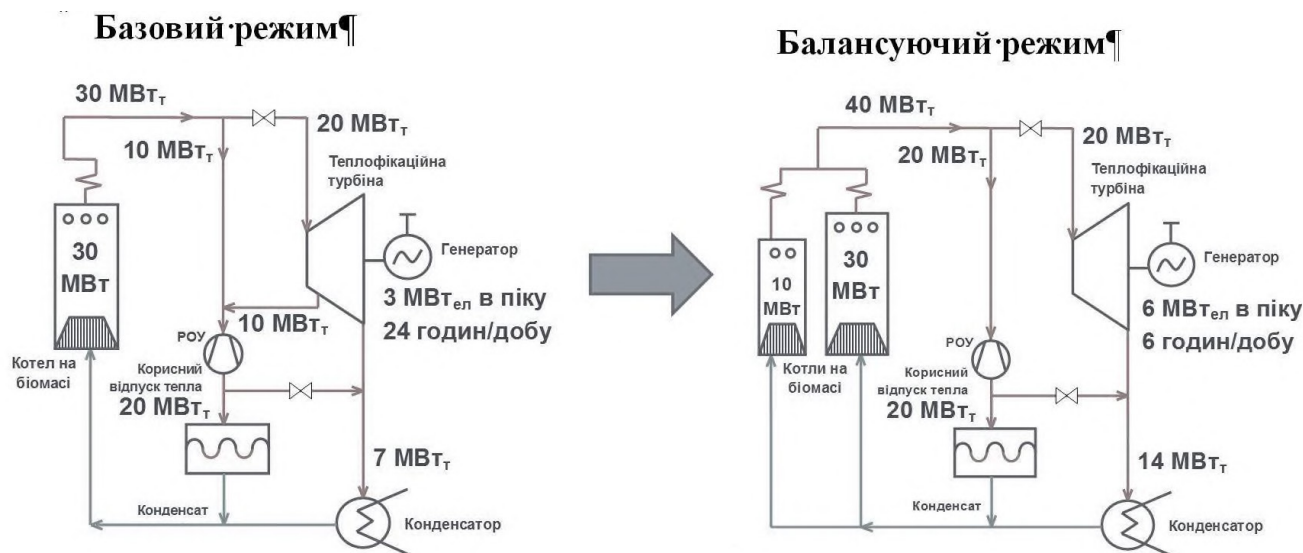


Рис. 3. Концепція роботи ТЕЦ на біомасі 3 МВт_{ел} + 20 МВт_т у базовому та 6 МВт_{ел} + 20 МВт_т у балансуєчому режимах.

котла напругу. ТЕЦ із такою зв'язкою обладнання може працювати в широкому діапазоні потужностей по теплу та електриці (від 5 МВт_т (що зумовлюється мінімальною потужністю котла на біомасі) і 0 МВт_{ел} до повної потужності) і має показники набору електричної потужності від 0 МВт_{ел} до 3 МВт_{ел} з холодного стар-

ту за 1 год, з гарячого старту – за 15 хв [9]. Це цілком задовольняє потреби оператора мережі у балансувальній електриці для другої групи балансування. ТЕЦ обладнана байпасом та РОУ для можливості роботи у режимі котельні із задіянням турбіни на власні потреби ТЕЦ, але без відпуску електрики в мережу.



Рис. 4. Режими роботи базової та балансувальної ТЕЦ на біомасі протягом доби.

Табл. 1. Вихідні показники моделі ТЕО «базової» ТЕЦ на біомасі 3 МВт_{ел} (база) +20 МВт_т

Проектні показники	
Об'єкт впровадження	ТЕЦ на біомасі (тріска/тюки стебла кукурудзи/соняшника) на 3 МВт _е +20 МВт _т , ККДел=30%, ККДтепл=85%
Теплотворна здатність біомаси	3,5 МВт•год/т (12,6 ГДж/т)
Ціна на сировину	50 Євро/т
Споживання сировини	39 200 т/рік
Власне споживання електричної енергії	15%
Коефіцієнт використання встановленої електричної потужності ТЕЦ за рік (КВВП)	87%
Коефіцієнт використання палива	77%
Річні операційні витрати	ВСЬОГО: 2,9 млн. Євро/рік, з них Паливо: 1,9 млн. Євро/рік Інші витрати: 1,0 млн. Євро/рік
Фінансові показники	
Тариф на є/є до 1 січня 2030 р.	0,1239 Євро/кВт•год без ПДВ
Тариф на є/є з 1 січня 2030 р.	0,06 Євро/кВт•год без ПДВ
Тариф на теплову енергію з біомаси	0,9 х 1400 грн/Гкал без ПДВ [11]
Ставка дисконтування	8%
Ставка кредитування	8%
Період кредитування / грейс період	8 років / 1 рік
Частка кредитних коштів в кап. витратах	60%

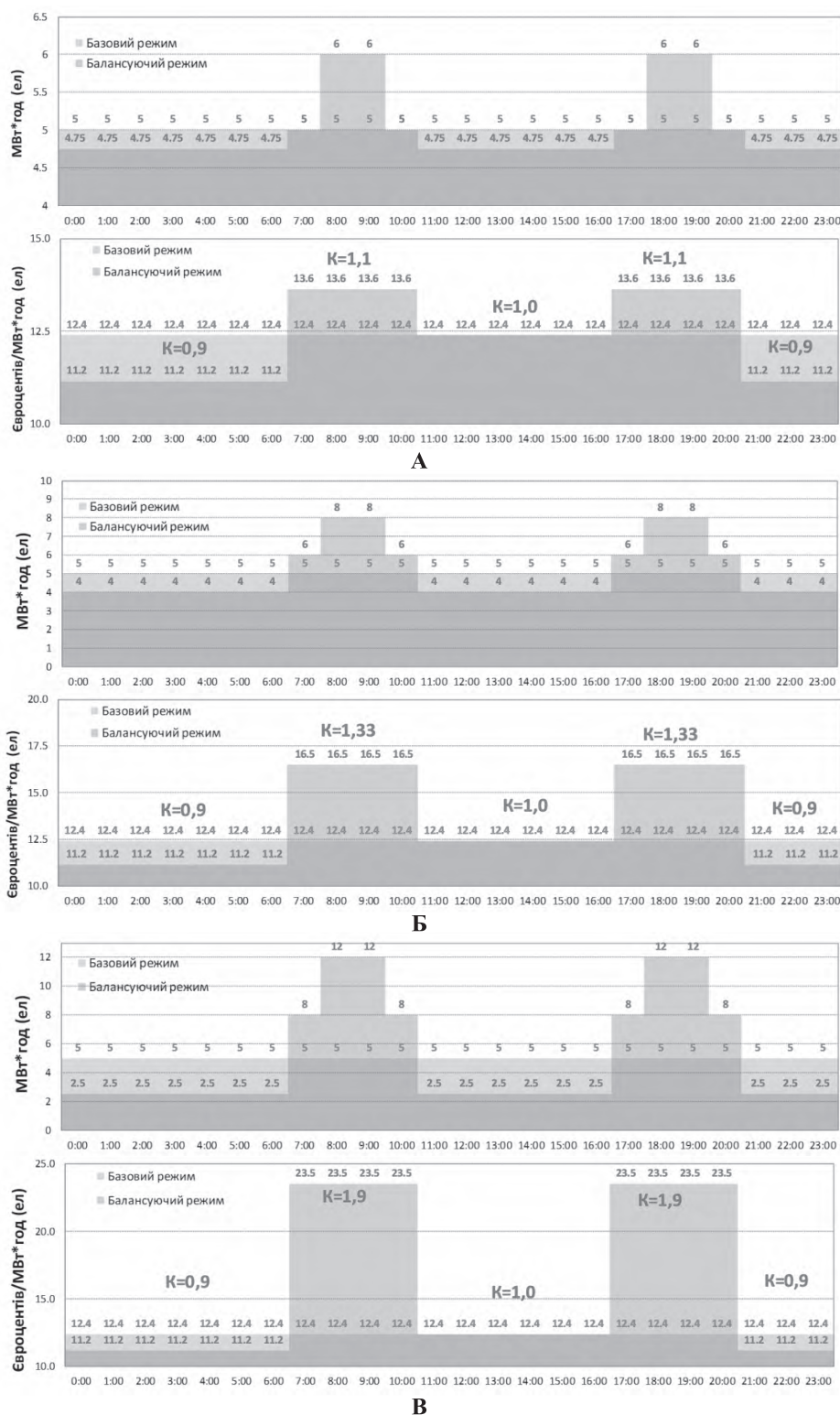


Рис. 5. «Трьохзонний» тариф для ТЕЦ на біомасі в режимі балансування:

А: $5 \text{ MW}_{\text{ел}} (\text{база}) + 1 \text{ MW}_{\text{ел}} (\text{нік})$;

Б: $5 \text{ MW}_{\text{ел}} (\text{база}) + 3 \text{ MW}_{\text{ел}} (\text{нік})$;

В: $5 \text{ MW}_{\text{ел}} (\text{база}) + 7 \text{ MW}_{\text{ел}} (\text{нік})$.

Балансуюча ТЕЦ, що еквівалентна до розглянутої базової, являє собою установку із електричною потужністю (піковою) $6 \text{ МВт}_{\text{ел}}$ і таким самим корисним відпуском теплової енергії (20 МВт_T). При цьому, встановлена потужність котлів становить 40 МВт_T (тобто, ТЕЦ до оснащується додатковим котлом 10 МВт_T .) Така балансуюча ТЕЦ працює у базовому режимі котельні на потреби теплопостачання (потужність корисного відпуску 20 МВт_T без задіяння турбіни та ефекту когенерації). Надлишок потужності ($6 \text{ МВт}_{\text{ел}}$ або 20 МВт_T) використовується у години пік, наприклад, у період ранкового та вечірнього піків, або у період денного провалу – рис. 4. В години пік, коли необхідне додаткове електричне навантаження, потужність підвищується з 20 МВт_T до 40 МВт_T (і, відповідно, з $0 \text{ МВт}_{\text{ел}}$ до $6 \text{ МВт}_{\text{ел}}$) для покриття базового теплового та пікового електричного навантаження ТЕЦ.

Для базового та балансуючого режимів маємо відповідні коефіцієнти використання палива – 0,77 та 0,65 відповідно при рівних ККД виробництва електроенергії. Для базового режиму коефіцієнт використання палива вище, оскільки задіюється ефект когенерації, чого немає у балансуючому режимі.

Для подальшого розрахунку вважається, що період роботи «в базі» дорівнює 24 год/добу, «в піку» – 6 год/добу.

Техніко-економічна оцінка роботи ТЕЦ на біомасі у режим балансування для запропонованого механізму стимулювання

Технічні та фінансові показники для моделі подальших розрахунків зведені у табл. 1. Загальні капітальні витрати на базову ТЕЦ складають 9 млн. Євро, на балансуючу ТЕЦ – 15 млн. Євро через додаткові витрати на дообладнання котлом 10 МВт_T та турбіною вищої

Табл. 2. Порівняння показників ТЕЦ: базової $3 \text{ МВт}_{\text{ел}}$ (база) + 20 МВт_T та балансуючої $6 \text{ МВт}_{\text{ел}}$ (пік) + 20 МВт_T (паливо – тріска або тюки стебел кукурудзи/соняшника). Схема стимулюючого підвищеного тарифу на «пікову» електроенергію

Показники проекту	Модель			
	Базова ТЕЦ е/е по схемі «ЗТ» (0,1239 євро/кВт·год до 2030 р.)	Базова ТЕЦ е/е по схемі аукціону (0,9 х 0,1239 євро/кВт·год на 20 років)	Пікова ТЕЦ е/е по схемі «ЗТ» (0,1239 євро/кВт·год до 2030 р.)	Пікова ТЕЦ е/е по схемі аукціону (0,9 х 0,1239 євро/ кВт·год на 20 років)
Час роботи в базовому/піковому навантаженні	24 / 0	24 / 0	0 / 6	0 / 6
Базова/пікова потужність ТЕЦ, МВт_T	3 / 0	3 / 0	0 / 6	0 / 6
Піковий тариф, Євро/кВт·год	-	-	0,273	0,279
Капітальні витрати, млн. Євро	9.0	9.0	15.0	15.0
Капітальні витрати, €/кВт _{ел}	3 000	3 000	2 500*	2 500*
NPV, Євро	6 866 333	9 236 958	14 167 295	16 834 248
IRR, %	20,7%	20,5%	20,5%	20,4%
Простий строк окупності, років	4,9	5,5	5,1	5,5

* - питомі капітальні витрати нижче, тому що для «пікової» ТЕЦ у порівнянні з «базовою» ТЕЦ необхідне дообладнання більш потужним паровим котлом (+10 МВт_T , 4 млн. Євро) та більш потужною турбіною (+3 $\text{МВт}_{\text{ел}}$, 2 млн. Євро). Додаткові капітальні витрати на допоміжне обладнання, будівництво, інфраструктуру, інші пов'язані витрати, що витікають із підвищення електричної потужності, не враховуються, оскільки «пікова» ТЕЦ являє із собою модифікацію «базової» ТЕЦ із наявною інфраструктурою.

потужності та супутні витрати на допоміжне обладнання. Розрахунок проводиться для двох варіантів тарифу на електричну енергію – із застосування «зеленого» тарифу до 2030 і середньозваженого тарифу ринку після 2030 р. (перший варіант), і для опції участі ТЕЦ у аукціонах на електроенергію із зниженням на 10% тарифом на електроенергію на 20 років до 2040 р. (другий варіант). Тариф на теплову енергію з біомаси визначається відповідно до правил його встановлення [10], як 0,9 від середньозваженого тарифу на теплову енергію з газу для відповідної категорії споживачів. Фінансові показники для розрахунку визначаються за реальними пропозиціями на ринку для таких проектів.

На першому етапі розрахунку використовувався стандартний техніко-економічний «cash-flow аналіз», відповідно до якого визначалися всі сукупні витрати-прибутки обох альтернатив за строк життя проекту (25 років). Потім тариф на балансуєчу електричну енергію для балансуєчої ТЕЦ підбирався так, щоб баланс витрат-прибутків для неї та для базової ТЕЦ були однаковими. Такий розрахунок було проведено для трьох варіантів співвідношення (різниці) балансуєчої та базової потужності з метою визначення впливу цього співвідношення на кінцевий стимулюючий тариф на балансуєчу електрику. На рис. 5 представлені результати такого попереднього розрахунку.

З точки зору інвестора, cash flow аналіз недостатній для розуміння фінансової рівноправності альтернатив базової та балансуєчої ТЕЦ. Тому, на другому етапі, використовується стандартний підхід фінансового аналізу із визначенням IRR, NPV та строку окупності для обох проектів. Вважається, що обидві альтернативи рівноправні, якщо їхні IRR рівні. Для інвестора в умовах України проект вважається фінансово виправданим, якщо $IRR \geq 20\%$. Базова ТЕЦ на біомасі в обраній технічній концепції забезпечує $IRR = 20\%$. Для забезпечення $IRR = 20\%$ балансуєчої ТЕЦ підбирається відповідний стимулюючий «піковий тариф» в години балансування. Результати розрахунку показані у табл. 2.

Таким чином, відповідно до проведених розрахунків, тариф на балансуєчу електрику для $IRR = 20\%$ має бути 0,279 Євро/кВт·год без ПДВ ($K = 2,25$) відповідно до обраної концепції ТЕЦ для варіанту відпуску е/е по аукціону і 0,273 Євро/кВт·год ($K = 2,2$) без ПДВ для варіанту відпуску електроенергії за 3Т. При цьому співвідношення балансуєчої до базової потужностей складає 6/3. Якщо проект буде більш масштабним із меншим співвідношенням балансуєчої потужності до базової потужності (наприклад, 40 МВт_{ел} (база) + 6 МВт_{ел}

(пік) (6/40 або 0,15), що може бути реалізовано у існуючій концепції Хмельницької біопаливної електростанції [12], яка станом на травень 2020 р. знаходиться на етапі проєктування), цей тариф може бути значно нижчим, як показано для прикладів співвідношень (різниць) потужностей на рис. 5.

Висновки

У роботі показано, що для ефективної роботи на ринку пікових електричних навантажень існуюча ТЕЦ на біомасі повинна бути дооснащена більшим котлом та турбіною для можливості відпуску більшої кількості електричної енергії в мережу в години пік. Як одне з можливих рішень щодо стимулювання роботи ТЕЦ/ТЕС на біомасі на ринку балансуєчих потужностей запропоновано підвищений тариф на електроенергію в окремі години доби (ранковий та вечірній піки). Розраховано, що для створення умов стимулювання інвестора у ТЕЦ на біомасі працювати на ринку пікових електричних навантажень (IRR на рівні 20%), необхідно встановити тариф на обсяг електроенергії, вироблений в періоди пікового споживання, на рівні 0,273-0,279 Євро/кВт·год в залежності від схеми відпуску електроенергії в мережу.

ЛІТЕРАТУРА

1. *Приріст виробництва електричної енергії з ВДЕ*. Статистичні дані Державного агентства енергоефективності та енергозбереження станом на 1 січня 2020 р.: http://saee.gov.ua/sites/default/files/%D0%A1%D0%BB%D0%B0%D0%B9%D0%B4%20%D0%92%D0%94%D0%95%202019_0.jpg.
2. *Приріст виробництва електричної енергії з відновлюваних джерел – оперативні дані Української асоціації відновлюваної енергетики*, 2018. <http://uare.com.ua/novyny/642-pririst-virobnitstva-elektrichnoji-energiji-z-vidnovlyuvanikh-dzherel.html>
3. *Звіт з оцінки відповідності (достатності) генеруючих потужностей (проект)*. ДП НЕК «Укренерго», 2017, 117 стор. <https://ua.energy/wp-content/uploads/2017/10/Zvit-z-otsinky-vidpovidnosti-dostatnosti-generuyuchyhpotuzhnostej.pdf>
4. *Звіт з оцінки відповідності (достатності) генеруючих потужностей (проект)*. ДП НЕК «Укренерго», 2019, 84 стор. <https://ua.energy/wp-content/uploads/2019/10/Zvit-z-otsinky-vidpovidnosti-vid-31.10.19.pdf>
5. *Диспетчерська інформація – добовий графік виробництва/споживання електроенергії*. ДП НЕК «Укренерго», 2020. <https://ua.energy/diyalnist/dyspetcherska-informatsiya-dobovij-grafik-vyrobnystva-spozhyvannya-e-e/>

6. Про обмеження генерації «зеленої» електроенергії диспетчером енергосистеми України. <https://kosatka.media/uk/category/vozobnovlyayemaya-energia/news/segodnya-nochyu-vpervye-sostoyalos-ogranicheniya-generacii-zelenoy-elektroenergii-gerus>

7. *Технології гнучкості* для інтеграції ВДЕ в енергосистему. Ігор Петрик, Презентація WÄRTSILÄ ENERGY, 2020, 27 стор. <http://uwea.com.ua/uploads/docs/1568872256-2.pdf>

8. В. М. Ковецький, М.М. Ковецькая. Оценка маневренных возможностей электрогенерирующих установок для обеспечения качества электроэнергии. // Системні дослідження та комплексні проблеми енергетики. Проблеми загальної енергетики – 2007, № 16/2007. – С. 47-53. http://dspace.nbu.gov.ua/bitstream/handle/123456789/3098/2007_16_St_8.pdf?sequence=1

9. М. С. Гуревич, П. Д. Федоров. Теплосиловое хозяйство сахарных заводов. - Киев : Гостехиздат УССР, 1962. - 380 с.

10. Закон України «Про теплопостачання», Стаття 13, 20. <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2633-15>

11. *Розраховані середньозважені тарифи на теплову енергію, вироблену з використанням природного газу, для потреб населення та бюджетних установ, а також тарифи на транспортування та постачання теплової енергії від 25 березня 2020 р.* Державне агентство з енергоефективності та енергозбереження, 2020. <http://saee.gov.ua/uk/news/3347>

12. *Проект ТЕС на тюкованій соломі 44 МВт_{ел}* «Хмельницька біопаливна електростанція», Хмельницька область, Україна. <https://www.kbpp.com.ua/>

ENGAGEMENT OF BIOMASS CHP FOR POWER GRID BALANCING IN UKRAINE

Geletukha G.G.

Institute of Engineering Thermophysics of the National Academy of Sciences of Ukraine, 2a Marii Kapnist Str., Kyiv, 03057, Ukraine

<https://doi.org/10.31472/tpe.3.2020.5>

Work is aimed on determination of possibilities of biomass CHP engagement for power grid balancing in Ukraine. The principal technical possibility for biomass CHP (existing and greenfield construction) engagement for balancing is considered and confirmed. The technical concept for biomass CHP switch from baseload regime into balancing regime has been developed. For effective operation on the peak load market, the existing biomass CHP shall be additionally equipped with boiler and turbine of higher capacity to provide possibility of additional peak electricity supply to the grid. As one of the possible decisions for stimulation of biomass CHP/TPP operation in balancing regime, the mechanism for provision of incentive tariff for peak hours (morning and evening peaks) has been proposed. According to the calculation, the respective incentive tariff to stimulate biomass CHP investor for balancing operation shall be 0.273-0.279 EUR/kWh depending on the electricity supply scheme and for the ratio between balancing and baseload capacities as 6/3. It was demonstrated, that for more large-scale projects and for smaller ratio between balancing and baseload capacities, the respective tariff will be lower.

References 12, table 2, figures 5.

Key words: biomass, biomass CHP, balancing, baseload regime, balancing regime, power grid.

1. *Increase of electricity* production from RES. Statistical data of State Agency of Energy Efficiency and Energy Saving for 1 January 2020. http://saee.gov.ua/sites/default/files/%D0%A1%D0%BB%D0%B0%D0%B9%D0%B4%20%D0%92%D0%94%D0%95%202019_0.jpg.

2. *Increase of electricity* production from renewable energy sources – operative data of Ukrainian Renewable Energy Association, 2018. <http://uare.com.ua/novyny/642-pririst-virobnitstva-elektrichnoji-energiji-z-vidnovlyuvanikh-dzherel.html>

3. *Draft report* for estimation of generating capacities adequacy (sufficiency) by SE NEK “Ukrenergo”, 2017, 117 pages. <https://ua.energy/wp-content/uploads/2017/10/Zvit-z-otsinky-vidpovidnosti-dostatnosti-generuyuchyhpotuzhnostej.pdf>

4. *Draft report* for estimation of generating capacities adequacy (sufficiency) by SE NEK “Ukrenergo”, 2019, 84 pages. <https://ua.energy/wp-content/uploads/2019/10/Zvit-z-otsinky-vidpovidnosti-vid-31.10.19.pdf>

5. *Dispatch information* – daily-based graph of production/consumption of electricity in the grid. SE NEK “Ukrenergo”, 2020. <https://ua.energy/diyalnist/dyspetcherska-informatsiya/dobovyj-grafik-vyrobnystvaspozhyvannya-e-e/>

6. *About the limitation* of power-to-grid supply from renewable energy sources. <https://kosatka.media/uk/category/vozobnovlyamaya-energiya/news/segodnya-nochyu-vpervye-sostoyalos-ogranicheniya-generacii-zelenoy-elektroenergii-gerus>

7. *Technologies of flexibility* for integration of RES into power grid. Ihor Petryk. Presentation of WÄRTSILÄ ENERGY, 2020, 27 pages. <http://uwea.com.ua/uploads/docs/1568872256-2.pdf>

8. V. M. Kovetskyy, M.M. Kovetskaya. Estimation of maneuver possibilities for power generation installations to provide necessary power quality. // System researches and complex problems of energy. Problems of general energy 2007, № 16/2007, pages 47-53. http://dspace.nbuv.gov.ua/bitstream/handle/123456789/3098/2007_16_St_8.pdf?sequence=1

9. M. S. Gurevych, P. D. Fedorov. Heat and power infrastructure of sugar plants. Kyiv: Gostehizdat, USSR, 1962. 380 p.

10. *Law of Ukraine* “On Heat Supply”, Article 13, 20. <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2633-15>

11. *Average weighted* tariffs for heat energy produced from natural gas for population and budget organizations, tariffs for transportation and supply of heat energy dated 25 March 2020. State Agency of Energy Efficiency and Energy Saving, 2020. <http://saee.gov.ua/uk/news/3347>

12. *Straw bales* biomass TPP project 44 MW_{el} «Khmelnysk bio power plant», Khmelnysk region, Ukraine. <https://www.kbpp.com.ua/>

Отримано 22.07.2020

Received 22.07.2020