

ЕКОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ ЕНЕРГЕТИКИ ТА ЗАХИСТ ДОВКІЛЛЯ

ISSN 2522-4344 (Online), ISSN 1562-8965 (Print). The problems of general energy. 2017, 4(51):67-73

doi: <https://doi.org/10.15407/pge2017.04.067>

УДК 621.311

В.С. КОБЕРНИК

Інститут загальної енергетики НАН України,
вул. Антоновича, 172, м. Київ, 03150, Україна

ЕКОНОМІЧНИЙ АНАЛІЗ ВИКОРИСТАННЯ ТЕХНОЛОГІЙ ПЕРЕТВОРЕННЯ ЕНЕРГІЇ НА ТЕС УКРАЇНИ

Проведені техніко-економічні розрахунки і порівняння перспективних проектів нового будівництва і реконструкції енергоблоків ТЕС за різними технологіями, що забезпечують досягнення сучасних норм викидів основних забруднюючих речовин. Проаналізовано вплив курсу гривні до долара і цін на вугілля та газ на середню вартість електричної енергії за життєвий цикл при впровадженні нових технологій перетворення енергії на ТЕС.

Ключові слова: тепла електрична станція, надкритичні параметри пари, циркулюючий киплячий шар, очищення димових газів, вартість електричної енергії.

Загальні положення. Енергетична система України має значну кількість застарілих енергоблоків, які не підлягають реконструкції. Нові потужності, які впроваджуватимуться на ТЕС замість старих енергетичних блоків, що відпрацювали свій ресурс, повинні задовольняти вимогам Директиви 2001/80/ЄС «Про обмеження викидів речовин від крупних установок спалювання, що забруднюють повітря» [1]. У зв'язку з цим, окрім реконструкції існуючих необхідне будівництво нових генеруючих потужностей, що здійснюватиметься з використанням сучасного обладнання очищення димових газів, котлів та енергоблоків більш досконалих конструкцій. Перспективним енергетичним технологіям та можливостям їх впровадження в енергетику України присвячено багато робіт, наприклад [2, 3], але у цих роботах відсутні техніко-економічні розрахунки вартості електричної енергії при впровадженні нових технологій та

порівняння проектів будівництва нових генеруючих потужностей на ТЕС.

Мета роботи. Виходячи з наведеного вище, метою цієї статті є порівняння перспективних проектів реконструкції енергоблоків і будівництва нових генеруючих потужностей на ТЕС за умов зміни курсу гривні до долара і цін на вугілля та газ.

Вихідні дані та характеристики проектів. Для порівняння вибрано проекти реконструкції існуючих пилувугільних енергоблоків потужністю 300 МВт із збільшенням потужності до 325 МВт зі встановленням обладнання сіркоочищення та азотоочищення і без нього (встановлений лише ефективний електрофільтр – базовий варіант № 1). Проектні характеристики нових енергоблоків приймалися за даними [3–7]. Розглянуто такі проекти нових пилувугільних енергоблоків:

– надкритичного тиску пари (НКТ) з факельним спалюванням вугільного пилу з сіркоочищенням (СО) і азотоочищенням (АО);

– НКТ зі спалюванням вугілля у циркулюючому киплячому шарі (ЦКШ) без додаткового очищення димових газів;

– ультранадкритичних параметрів пари (УНКП) з факельним спалюванням вугільного пилу з сіркоочищенням (СО) і азотоочищенням (АО).

Характеристики нових проектів і діючих енергоблоків наведені у табл. 1 і 2. Вихідні дані

базового проекту вибрано за результатами реконструкції енергоблока № 1 Запорізької ТЕС у 2012 році [4]. Співставлення характеристик нових перспективних енергоблоків з характеристиками енергоблоків на стандартні надкритичні параметри пари 24МПа/540/540 °С проведено в [5].

Інвестиційним проектом для Слов'янської ТЕС передбачено реконструкцію енергоблока

Таблиця 1 – Характеристики парогазових і газотурбінних електростанцій [9]

	Одиниця виміру	ГТУ пікові	ПГУ з внутрішньоцикловою газифікацією вугілля ⁽²⁾	ПГУ (газ)
Потужність	МВт	216–103	580	550
Вартість проектування, поставок та будівництва	дол. США/кВт	580–700	3257–6390	743–1004
Капітальні витрати протягом будівництва	дол. США/кВт	включено	743–1610	107–145
Інші витрати власника	дол. США/кВт	220–300	включено	156–170
Загальні капітальні витрати ⁽¹⁾	дол. США/кВт	800–1000	4000–8000	1006–1318
Фіксовані витрати на експлуатацію та технічне обслуговування	дол. США/кВт·рік)	5,00–25,00	62,25–73,00	6,20–5,50
Змінні витрати на експлуатацію та технічне обслуговування	дол. США/МВт·год	4,70–7,50	7,00–8,50	3,50–2,00
Питома витрата тепла (на вироблення електроенергії)	Вtu/кВт·год	1000–9000	8800–10520	6700–6900
Коефіцієнт використання встановленої потужності	%	10	75	40–70
Ціна палива	дол. США/ММВtu	4,50	1,99	4,50
Час будівництва	місяці	25	57–63	36
Строк служби	роки	20	40	20
Викиди CO ₂	lb/ММВtu	117	169	117
Середня вартість виробленої електричної енергії (LCOE)	дол. США/МВт·год	179–230	102–171	61–87

Вtu – British thermal unit; британська теплова одиниця (0,252 ккал)
ММВtu – мільйонів британських теплових одиниць
lb/ММВtu – фунтів (0,453592 kg) / мільйонів британських теплових одиниць
⁽¹⁾ Включають капітальні витрати для установок з часом будівництва понад 24 місяців.
⁽²⁾ Верхня межа включає 90% уловлювання вуглецю і стиснення. Не включає в себе вартість транспортування і зберігання.

Таблиця 2 – Характеристики енергоблоків ТЕС [3 – 7, 9]

№ з/п	Тип енергоблока	Країна	Номинальна потужність, МВт	Питомі капітальні витрати, дол. США/кВт	ККД нетто, %	Літературне джерело
1	Пиловугільний блок НКТ без СО і АО	Україна	325	190	36,9	Запорізька ТЕС [4]
2	Пиловугільний блок НКТ з МСО і СКАО	Україна	325	490	33,9	Те ж з МСО і СКАО [4]
3	Пиловугільний блок УНКТ	Китай	932	723	46	[5]
4	Пиловугільний блок НКТ	Китай	1119	663	46	[5]
5	Пиловугільний блок НКТ	Китай	539	740	46	[5]
6	ЦКШ НКТ	Польща	460	1150	43,3	ТЕС Lagisza, 2009 рік [6]
7	ЦКШ	Україна	330	1290	43,0	Проект Слов'янської ТЕС [7]
8	ПГУ з внутрішньо-цикловою газифікацією вугілля	США	580	1176		[9]
9	ПГУ (газ)	США	550	876		[9]
10	Газотурбінні пікові ТЕС	США	160	900		[9]

Примітка: СО – сіркоочищення; АО – азотоочищення; МСО – мокре сіркоочищення; СКАО – селективне каталітичне азотоочищення

№ 6 з поділом на енергоблоки № 6а і № 6б потужністю 330 МВт кожний з установкою котлоагрегатів за технологією спалювання вугілля в циркулюючому киплячому шарі [7]. Технологія дозволяє спалювати з високою економічністю вугілля різної якості та істотно знижує викиди забруднюючих речовин.

У світі найбільшого прогресу під час впровадження котлів з ЦКШ досягнуто в Польщі, де встановлено 15 котлів для енергоблоків потужністю понад 100 МВт. У 2009 р. компанія Foster Wheeler ввела в експлуатацію найбільший в світі блок потужністю 460 МВт з котлом ЦКШ на ТЕС «Логіже»

(Польща). Енергоблок розрахований на надкритичні параметри пари і оснащений системою поглибленого охолодження вихідних газів [6].

Порівняльні техніко-економічні розрахунки за середньою вартістю електричної енергії за життєвий цикл (LCOE, [8]) проведено з використанням вихідних даних з табл. 1, 2 та при таких даних: кількість годин використання встановленої потужності – 6600 год./рік; вартість вугілля – 1100 грн/т н.п.; за даними НКРЕКП вартість газу для виробництва тепла – 1309,2 грн/1000 м³ у 2014 р. і 2994 грн/1000 м³ у 2015 р.; вартість газу для промисловості

– 6231,82 грн/1000 м³ у 2014 р. та 8949,48 грн/1000 м³ у 2015 р.; дисконтна ставка – 0,10; курс валют – 12 грн/дол. США у 2014 році і 24,0 грн/дол. США у 2015 році; ставки податків за забруднення повітря (2015 р.) [10, 11]: оксидами сірки – 1553,79 грн/т; оксидами азоту – 1553,79 грн/т; твердими частинками – 58,54 грн/т. Частка умовно-постійних витрат, пов'язаних з експлуатацією і ремонтами порівнювальних проектів, визначалася на основі аналізу структури вартості виробництва електричної енергії на ТЕС генеруючих компаній України за даними НКРЕКП України і приймалася у розмірі 20% від виробничої вартості [8].

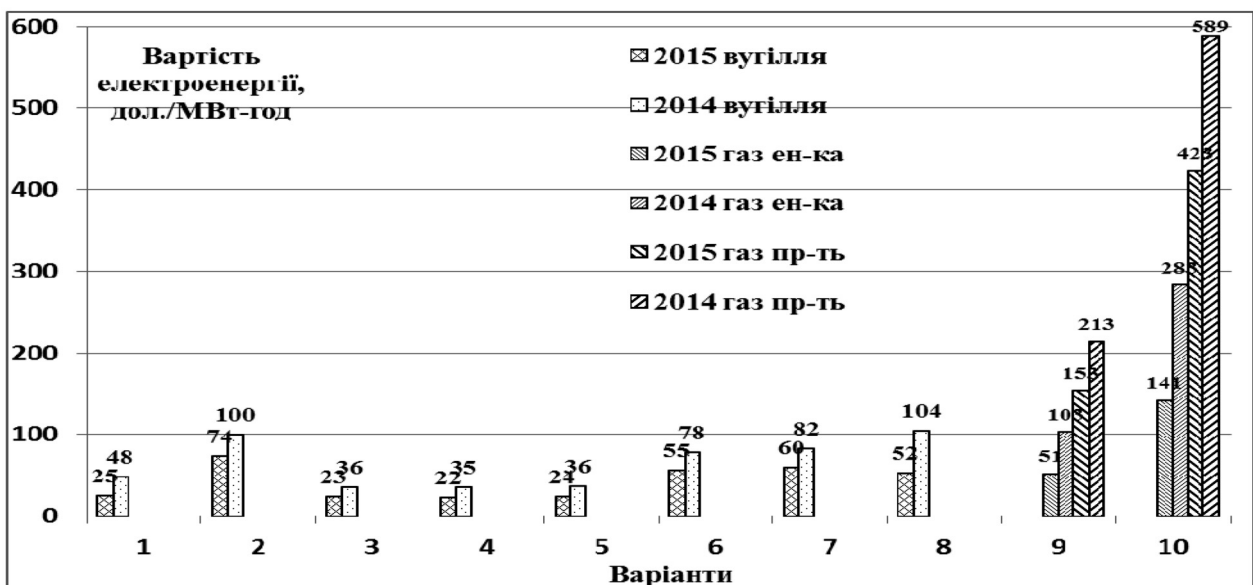
Для проведення розрахунків реконструкції та будівництва нових енергоблоків на теплових електростанціях країни було використано програмно-інформаційний комплекс порівняльної оцінки вартості електричної енергії за життєвий цикл при спалюванні органічного палива в енергетичних установках [8]. Економічні показники енергоблоків включають: інвестиційні, експлуатаційні, паливні питомі витрати та плату за викиди основних забруднювачів (SO₂, NO_x, тверді частинки) з

димовими газами на 1 МВт·год виробленої електроенергії.

Результати обчислення. Результати співставлення середньої зваженої ціни електричної енергії за життєвий цикл від енергоблоків різної потужності з встановленим обладнанням сіркоочищення та азотоочищення і без нього, що працюють за різними технологіями спалювання, адаптованими до українських умов, наведено на діаграмі на рис. 1.

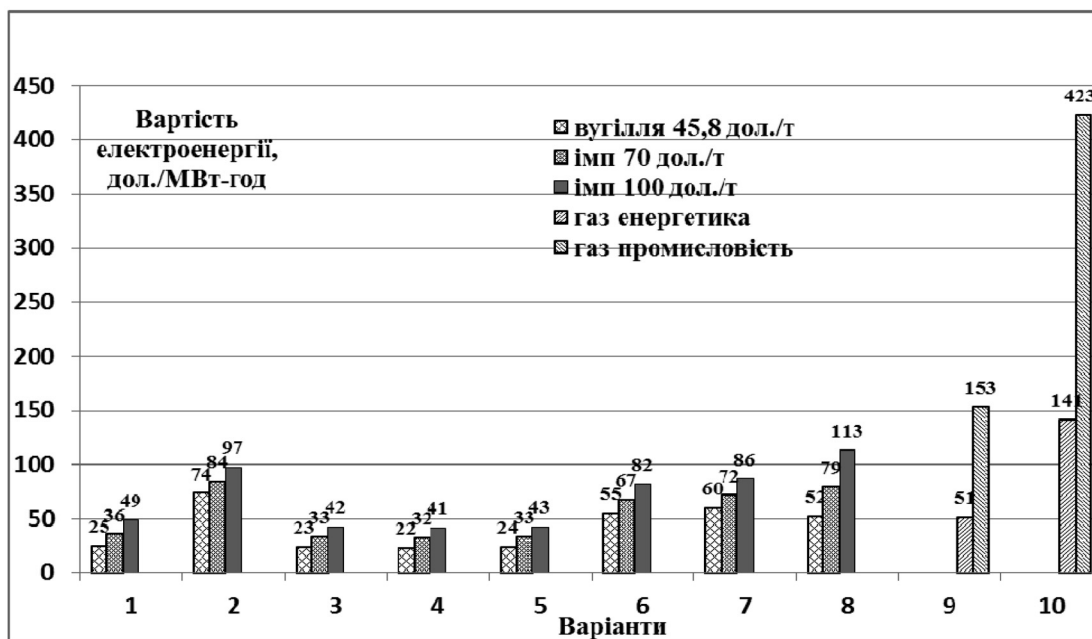
Наведені результати розрахунків свідчать про те, що за чинних ставок податків на викиди основних забруднюючих речовин з димовими газами згідно з Податковим кодексом України [10, 11] встановлення додаткового природоохоронного обладнання (мокрого сіркоочищення і системи очистки від оксидів азоту за технологію каталітичного відновлення) призводить до збільшення середньої зваженої вартості електричної енергії за життєвий цикл на 49–52 дол. США/МВт·год.

Витрати при будівництві нових енергоблоків ЦКШ за умов діючих ставок податків за забруднення повітря будуть нижчими порівняно з витратами у разі реконструкції енергоблоків з встановленням додаткового природо-



Примітка: Варіанти описано в табл. 2.

Рис. 1. Середня зважена вартість електричної енергії за життєвий цикл залежно від курсу гривні до долара (2014 р. – 12 грн/дол. США; 2015 р. – 24 грн/дол. США)



Примітка: Варіанти описано в табл. 2.

Рис. 2. Середня зважена вартість електричної енергії за життєвий цикл у разі спалювання палива різної вартості

охоронного обладнання. Таким чином, в умовах ринкової конкуренції впровадження природоохоронних технологій високої ефективності на окремих енергоблоках ТЕС не є інвестиційно привабливим за чинних ставок податків на викиди.

Середня зважена вартість електричної енергії за життєвий цикл у разі спалювання палива різної вартості наведена на діаграмі на рис. 2.

З діаграми (рис. 2) видно, що середня зважена вартість електричної енергії за життєвий цикл для технологій спалювання органічних палив, адаптованих до українських умов, найнижча для китайських енергоблоків, а для українських енергоблоків (проект для Запорізької ТЕС) з встановленим обладнанням з очищення димових газів є на 25% вищою, ніж вартість електроенергії, виробленої на нових українських і польських енергоблоках з котлами ЦКШ. Максимальні витрати мають місце для газотурбінних пікових електростанцій. Досить низькі витрати для ПГУ пояснюються ціною газу для виробників енергії, а за ціни газу як для промисловості

варіанти з ПГУ є значно більш витратними.

Отже, згідно з наведеними вище дослідженнями, найбільш перспективними з точки зору економічності та відповідності екологічним вимогам ЄС можна вважати пилувугільні енергоблоки з ультранадкритичними та надкритичними параметрами пари (Китай) та з котлами ЦКШ. Це збігається з прогнозами МЕА щодо перспектив розвитку енергетичних технологій у світі та планами розвитку генеруючих потужностей на теплових електростанціях України.

ВИСНОВКИ

1. На основі розрахунків середньої вартості виробленої енергії за життєвий цикл для різних технологій спалювання вугілля на енергоблоках у різних країнах світу проведено адаптацію технологій спалювання вугілля для умов України. Проаналізовано вплив вартості вугілля і зміни курсу гривні до долара на середню вартість електричної енергії за життєвий цикл. Показано, що за умов виконання норм ЄС, які забезпечують досягнення сучасних норм викидів основних забруднюючих

речовин, вартість електричної енергії у разі реконструкції енергоблоків з установкою очисного обладнання в Україні буде на 120–300 % вища, ніж при будівництві нових енергоблоків поставки з Китаю (без урахування кредитних ставок, митних зборів, транспортних витрат).

2. На основі розрахунків середньої вартості виробленої енергії за життєвий цикл для різних технологій спалювання вугілля і газу, адаптованих до українських умов, проведено фільтрацію технологій генерації електричної енергії для впровадження на ТЕС України. Визначено, що доцільність використання ПГУ визначається цінами на природний газ та співвідношенням цін на газ та вугілля. Показано, що найбільш перспективними з точки зору економічності та відповідності екологічним вимогам ЄС можна вважати пилувугільні енергоблоки з ультранадкритичними та надкритичними параметрами пари (Китай) та з котлами ЦКШ (Україна, Польща).

1. Директива 2001/80/ЄС «Про обмеження викидів речовин від крупних установок спалювання, що забруднюють повітря». URL: http://zakon3.rada.gov.ua/laws/show/994_913.
2. Вольчин І.А., Дунаєвська Н.І., Гапонич Л.С. та ін. Перспективи впровадження чистих вугільних технологій в енергетику України. К.: Гнозис, 2013. 308 с.
3. Вольчин И.А. Особенности внедрения высокоэффективной газоочистки в теплоэнергетике Украины. *Енергетика та електрифікація*. 2014. № 2. С. 16—17.
4. Енергоблок № 1 Запорізької ТЕС включено в мережу після реконструкції. URL: <http://www.dtek.com/uk/media-centre/press-releases/details/energoblok-1-dtek-zaporizjkoites-vkljucheno-v-merezhu-pisljarekonstruktsii#.VFefKMbgwg0>.
5. Елисеев Ю.В., Ноздренко Г.В., Шепель В.С. Перспективные экологичные энергоблоки ТЭС на твердом топливе. Материалы VIII Всероссийской конференции с международным участием «Горение твердого топлива». Институт теплофизики им. С.С. Кутателадзе Сибирского Отделения РАН. 13–16 ноября 2012 г. С. 42.1—42.7.

6. Timo Jantti, Kimmo Rasanen. Circulating Fluidized Bed Technology Towards 800 MWe Scale – Lagisza 460 MWe Supercritical CFB Operation Experience. Presented at Power Gen Europe Milan. Italy. June 7–9, 2011. 21 p.

7. Про схвалення техніко-економічного обґрунтування «Слов'янська ТЕС ПАТ «Донбасенерго». Реконструкція енергоблоку № 6 з розділенням на енергоблоки № 6б і № 6а потужністю 330 МВт кожний». URL: <http://zakon0.rada.gov.ua/laws/show/377-2013-p>.

8. Дубовський С.В., Коберник В.С. Аналіз ефективності технологій перетворення енергії на ТЕС з урахуванням обмежень на викиди шкідливих емітентів. *Проблеми загальної енергетики*. 2014. Вип. 4 (39). С. 11—19.

9. Unsubsidized Levelized Cost of Energy Comparison. URL: <https://ru.scribd.com/document/166615163/Lazard-s-Levelized-Cost-of-Energy-Analysis-Version-7-0>.

10. Про внесення змін у додаток 1 до Порядку встановлення нормативів збору за забруднення навколишнього природного середовища і стягнення цього збору та визнання таким, що втратив чинність, пункту 2 постанови Кабінету Міністрів України від 28 березня 2003 р. № 402. Постанова Кабінету Міністрів України від 18.10.2006 р. № 142. *Вісник податкової служби України*. № 40. URL: http://www.visionuk.com.ua/article/one/Postanova_2098212.html.

11. Податковий Кодекс України із змінами і доповненнями, внесеними Законами України від 23 грудня 2010 року № 2856-VI, ОВУ, 2010 р., № 101, ст. 3619, від 17 вересня 2015 р. № 702-VIII. URL: <http://www.interbuh.com.ua/normative/pku.html#h008>.

Надійшла до редколегії 07.11.2017.