

ЕКОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ ЕНЕРГЕТИКИ ТА ЗАХИСТ ДОВКІЛЛЯ

ISSN 2522-4344 (Online), ISSN 1562-8965 (Print). The problems of general energy, 2020, 1(60): 47–54
doi: <https://doi.org/10.15407/pge2020.01.047>

УДК 621.311

В.С. КОБЕРНИК, ORCID: 0000-0001-8727-7157

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

ЕКОНОМІЧНІ АСПЕКТИ ВПРОВАДЖЕННЯ ЗАХОДІВ ЗМЕНШЕННЯ ВИКИДІВ З ДИМОВИМИ ГАЗАМИ НА ТЕС УКРАЇНИ

Надано результати техніко-економічних розрахунків впровадження природоохоронних технологій на діючих енергоблоках ТЕС, що працюють на вугіллі, відповідно до Національного плану скорочення викидів з димовими газами. Проаналізовано інвестиційні витрати і збільшення собівартості електричної енергії за життєвий цикл при впровадженні технологічних заходів з очищення димових газів від викидів пилових частинок, двооксиду сірки, оксидів азоту. Визначено варіанти систем очищення, що відповідають нормативам Європейського співтовариства щодо викидів забруднюючих речовин.

Ключові слова: тепла електростанція, енергоблок, очищення димових газів, собівартість електричної енергії.

Національний план скорочення викидів (НПСВ) [1] для великих спалювальних установок, що працюють на вугіллі, зобов'язує енергетичних операторів забезпечити поступове скорочення граничних річних обсягів викидів щонайменш по одній із забруднюючих речовин: двооксиду сірки (SO_2), оксидів азоту (NO_x) та твердих частинок (пилу) від усіх установок, що включені до нього. Необхідно досягти норм гранично допустимих викидів забруднюючих речовин згідно з Директивою 2010/75/ЄС про промислові викиди. Термін дії НПСВ починається з 01.01.2018 р., а закінчується: для викидів пилу і SO_2 – 31.12.2028 р.; NO_x через значну складність і вартість впровадження заходів 31.12.2033 р. Оператори ТЕС добровільно прийняли рішення відступу від негайного виконання вимог щодо граничних обсягів викидів і надали інформацію про заплановані заходи для 61 вугільних енергоблоків щодо зменшення викидів (необхідне обладнання, термін впровадження). Проте в НПСВ не надані економічні розрахунки вартості впровадження окремих запланованих заходів і їх впливу на вартість виробленої енергії.

Метою статті є визначення економічних аспектів впровадження заходів щодо очищення димових газів від SO_2 , NO_x і пилу на енергоблоках існуючих ТЕС України, що працюють на вугіллі, а саме інвестиційних витрат і впливу на собівартість електричної енергії за життєвий цикл.

Техніко-економічні розрахунки впровадження природоохоронних технологій на енергоблоках ТЕС

проведено з використанням збільшення середньої зваженої собівартості електричної енергії за життєвий цикл (LCOE) [2] у якості критерію. LCOE враховує всі витрати впродовж життєвого циклу: інвестиційні та експлуатаційні, на паливо і допоміжні матеріали. Додаток до собівартості електроенергії за рахунок впровадження заходів щодо очищення димових газів розраховується за формулою:

$$\Delta c^* = \left(\frac{(\Delta I_1 + \Delta M_1 + \Delta F_1)}{(1+r)} \right) / \left(\frac{E_1}{(1+r)} \right) + \left(\sum_{t=2}^n \frac{\Delta M_t + \Delta F_t}{(1+r)^t} \right) / \left(\sum_{t=2}^n \frac{E_t}{(1+r)^t} \right),$$

де: Δc^* – збільшення середньої собівартості електроенергії за життєвий цикл, грн./кВт·год; t – поточний рік; n – термін існування проекту, роки; додаткові витрати на заходи з очищення від викидів з димовими газами, грн; ΔI_1 – інвестиційні; ΔM_1 – на обслуговування та ремонт; ΔF_1 – умовно змінні; E_1 – виробництво електричної енергії (нетто), кВт·год; r – дисконтна ставка.

Інвестиційні витрати складаються з початкових витрат і вартості обслуговування кредиту. Умовно змінні – це витрати на допоміжні витратні матеріали та екологічні платежі за викиди шкідливих речовин.

Вихідні данні, які використані для техніко-економічних розрахунків технологічних заходів з очищення димових газів при спалюванні вугілля на енергоблоках ТЕС згідно з НПСВ, наведені нижче. Вста-

© В.С. КОБЕРНИК, 2020

новлена електрична потужність енергоблоків 175–800 МВт; кількість годин роботи устаткування 7000 год/рік; термін роботи 15 років; питомі витрати палива на виробництво електричної енергії на енергоблоках ТЕС за даними [3]; вартість вугілля 3000 грн./т н.п. [4]; курс гривні до долара США 25 грн./дол.; ставки податків на викиди згідно Податкового кодексу [5]: за оксиди азоту 2451,84 грн./т; за двооксид сірки 2451,84 грн./т; за пилові частинки 92,37 грн./т; фактичні викиди за даними НПСВ [1], т/рік; ставка за кредит 0%; дисконтна ставка 10%.

Проаналізовано джерела інформації з технічними і питомими економічними показниками окремих технологічних заходів зі зменшення викидів. В інформаційно-технічному довіднику з найкращих наявних технологій спалювання палива на крупних установках (потужністю більше 50 МВт) [6] надані основні показники технологій з очищення димових газів при спалюванні вугілля на ТЕС. Економічні дані перераховані за курсом 58,15 руб./дол. США (середній у 2017 р.).

Показники обладнання з уловлювання твердих частинок [6]:

1) електростатичні фільтри (ЕСФ) – ККД 99,9%; питомі витрати: капітальні 27,52–49,87 дол./кВт; експлуатаційні 0,03–0,04 цент/кВт·год; питоме енергоспоживання [7] (% електричної потужності) 0,46–0,53; час для впровадження 12–18 міс.;

2) тканинні (рукавні) фільтри (ТФ) – ККД 99,9%; питомі витрати: капітальні 38,69 дол./кВт; експлуатаційні 0,2 цент/кВт·год; питоме енергоспоживання [7] 1,14–1,32; час для впровадження 12–18 міс.; використовують для частинок до 2,5 мкм за сухою і напівсухою сіркоочисткою. Термін для впровадження враховує лише час робіт на котлі. Загальний час з урахуванням проектних і експертних робіт, конкурсів на закупки, виготовлення обладнання і робіт на котлі може складати до 4-х років.

Показники заходів зі зменшення викидів NO_x [8]: селективне некаталітичне відновлення (СНКВ) – ККД 30–50% за питомих капітальних витрат 10–15 дол./кВт, селективне каталітичне відновлення (СКВ) ККД 80% за питомих капітальних витрат 70–90 дол./кВт; питомі експлуатаційні витрати (цент/кВт·год) [9]: СНКВ 0,08–0,2; СКВ 0,5–0,7; питоме енергоспоживання (% електричної потужності): СНКВ 0,1–0,3; СКВ 0,5–2,0.

Показники технологій очищення від SO₂ [10]:

1) напівсуха десульфуризація (НСД) – ККД 50–60%; питомі витрати: капітальні 1,8–5,7 дол./кВт; вартість уловлювання оксидів сірки [8] 65,35 дол./т (0,232 цент/кВт·год); питома площа для обладнання <0,0005 м²/кВт; питоме енергоспоживання 0,03%;

2) мокре сіркоочищення димових газів (МСДГ) – ККД 95%; питомі капітальні витрати 90–130 дол./кВт; вартість уловлювання оксидів сірки [8] 79,11 дол./т (0,281 цент/кВт·год); питоме енергоспоживання 2–3,7%; питома площа для обладнання 0,04–0,05 м²/кВт;

3) новітня інтегрована десульфуризація (НІД, напівсухий метод, компанія «Альстом Пауер Стіван»)

[11–13] – ККД 95%; питомі витрати: капітальні 50–70 дол./кВт; експлуатаційні 1,8–2,4 цент/кВт·год; питоме енергоспоживання 0,03%.

Для розрахунків використовували середні значення з діапазонів.

Згідно з НПСВ сформовано 14 варіантів заходів з очищення димових газів від пилових частинок, двооксиду сірки, оксидів азоту. Варіанти запланованих до впровадження систем очищення димових газів (imod):

imod = 1 – мокра вапнякова очистка; електростатичний фільтр; селективне некаталітичне відновлення + селективне каталітичне відновлення;

imod = 2 – мокра вапнякова очистка; відсутня золоочистка; селективне некаталітичне відновлення + селективне каталітичне відновлення;

imod = 3 – напівсуха десульфуризація; тканинний фільтр; селективне некаталітичне відновлення + селективне каталітичне відновлення;

imod = 4 – напівсуха десульфуризація; тканинний фільтр; селективне некаталітичне відновлення;

imod = 5 – відсутня сіркоочистка; електростатичний фільтр; селективне некаталітичне відновлення;

imod = 6 – відсутні сіркоочистка та золоочистка; селективне некаталітичне відновлення;

imod = 7 – напівсуха десульфуризація; електростатичний фільтр; селективне некаталітичне відновлення;

imod = 8 – мокра вапнякова очистка; відсутня золоочистка; селективне каталітичне відновлення;

imod = 9 – мокра вапнякова очистка; електростатичний фільтр; селективне каталітичне відновлення;

imod = 10 – напівсуха десульфуризація; електростатичний фільтр; селективне некаталітичне відновлення + селективне каталітичне відновлення;

imod = 11 – напівсуха десульфуризація; електростатичний фільтр; селективне каталітичне відновлення;

imod = 12 – напівсуха десульфуризація; електростатичний фільтр + тканинний фільтр; селективне каталітичне відновлення;

imod = 13 – новітня інтегрована десульфуризація; електростатичний фільтр; селективне некаталітичне відновлення + селективне каталітичне відновлення;

imod = 14 – відсутня сіркоочистка; електростатичний фільтр; відсутня азотоочистка.

За вищенаведеними вихідними даними в ІЗЕ НАНУ в середовищі Excel розраховані витрати на впровадження технологічних заходів (згідно з НПСВ) щодо очищення димових газів від SO₂, NO_x і пилу на енергоблоках існуючих ТЕС України, що працюють на вугіллі, собівартість електроенергії та збільшення її за рахунок очищення димових газів. Собівартість електричної енергії на діючих енергоблоках ТЕС без природоохоронного обладнання складає 1,603–1,979 грн./кВт·год. Технологічні заходи з очищення та результати розрахунків капітальних витрат для кожної технології, а також загальних, і збільшення собівартості електричної енергії надані в табл. 1. Середні збільшення собівартості електроенергії по кожному з варіантів скорочення викидів надані на рисунку.

Таблиця 1. Технологічні заходи, капітальні витрати та збільшення собівартості електроенергії за рахунок скорочення викидів на ТЕС

Енергоблоки ТЕС	Потужність, МВт (2017)	Викиди пилу		SO ₂		NO _x		Капітальні витрати всього, млн дол.	Збільшення собівартості електроенергії, грн./кВт·год
		тип	капітальні витрати, млн дол.	тип	капітальні витрати, млн дол.	тип	капітальні витрати, млн дол.		
Зуївська ТЕС									
1	325	ЕСФ	11,178	МСДГ	37,213	СНКВ+СКВ	30,063	78,453	0,636
2	320	ЕСФ	11,006	МСДГ	36,640	СНКВ+СКВ	29,600	77,246	0,636
3	300	ЕСФ	10,318	МСДГ	34,350	СНКВ+СКВ	27,750	72,418	0,636
4	300	–	10,318	МСДГ	34,350	СНКВ+СКВ	27,750	72,418	0,540
Всього	1245		42,820		142,553		115,163	300,535	
Луганська ТЕС									
9	200	ТФ	7,739	НСД	0,750	СНКВ+СКВ	18,500	26,989	0,440
10	210	ТФ	8,126	НСД	0,788	СНКВ	2,625	11,538	0,157
11	200	ЕСФ	6,879	–	0,000	СНКВ	2,500	9,379	0,148
13	210	–	0,000	–	0,000	СНКВ	2,625	2,625	0,043
14	200	ТФ	7,739	НСД	0,750	СНКВ+СКВ	18,500	26,989	0,440
15	200	ЕСФ	6,879	–	0,000	СНКВ	2,500	9,379	0,148
Всього	610		37,360		2,288		47,250	86,898	
Курахівська ТЕС									
3	200	ТФ	7,739	НСД	0,750	СНКВ	2,500	10,989	0,145
4	210	ТФ	8,126	НСД	0,788	СНКВ	2,625	11,538	0,146
8	225	–	0,000	–	0,000	СНКВ	2,813	2,813	0,041
9	225	ЕСФ	7,739	НСД	0,844	СНКВ	2,813	11,395	0,121
Всього	860		23,603		2,381		10,750	36,734	
Запорізька ТЕС									
1	325	–	0,000	МСДГ	37,213	СКВ	26,000	63,213	0,427
2	300	ЕСФ	10,318	МСДГ	34,350	СКВ	24,000	68,668	0,509
3	325	ЕСФ	11,178	НСД	1,219	СНКВ	4,063	16,459	0,094
4	300	ЕСФ	10,318	НСД	1,125	СНКВ	3,750	15,193	0,094
Всього	1250		31,814		73,906		57,813	163,533	

Продовження табл. 1.

Енергоблоки ТЕС	Потужність, МВт (2017)	Викиди пилу		SO ₂		NO _x		Капітальні витрати всього, млн дол.	Збільшення собівартості електроенергії, грн./кВт·год
		тип	капітальні витрати, млн дол.	тип	капітальні витрати, млн дол.	тип	капітальні витрати, млн дол.		
Придніпровська ТЕС									
11	310	ТФ	11,995	НСД	1,163	СНКВ+СКВ	28,675	41,832	0,442
13	285	ЕСФ	9,802	НСД	1,069	СНКВ	3,563	14,433	0,117
Всього	595		21,797		2,231		32,238	56,266	
Криворізька ТЕС									
1	282	ЕСФ	9,699	НСД	1,058	СНКВ+СКВ	26,085	36,842	0,624
3	300	ТФ	11,608	НСД	1,125	СНКВ+СКВ	27,750	40,483	0,426
4	300	ТФ	11,608	НСД	1,125	СНКВ+СКВ	27,750	40,483	0,426
6	282	ТФ	10,911	НСД	1,058	СНКВ	3,525	15,494	0,151
10	300	ТФ	11,608	НСД	1,125	СНКВ+СКВ	27,750	40,483	0,426
Всього	1464		55,434		5,490		112,860	173,784	
Бурштинська ТЕС									
8	195	ЕСФ	6,707	МСДГ	22,328	СКВ	15,600	44,634	0,636
9	195	ЕСФ	6,707	МСДГ	22,328	СКВ	15,600	44,634	0,636
10	195	ТФ	7,545	НСД	0,731	СНКВ+СКВ	18,038	26,314	0,431
11	195	ТФ	7,545	НСД	0,731	СНКВ+СКВ	18,038	26,314	0,431
12	195	ЕСФ	6,707	МСДГ	22,328	СКВ	15,600	44,634	0,569
Всього	975		35,211		68,445		82,875	186,531	0,636
Доброутірівська ТЕС									
7	150	ЕСФ	5,159	НСД	0,563	СНКВ	1,875	7,597	0,113
8	160	ЕСФ	5,503	НСД	0,600	СНКВ	2,000	8,103	0,113
Всього	310		10,662		1,163		3,875	15,700	

Продовження табл. 1.

Енергоблоки ТЕС	Потужність, МВт (2017)	Викиди пилу		SO ₂		NO _x		Капітальні витрати всього, млн дол.	Збільшення собівартості електроенергії, грн./кВт·год
		тип	капітальні витрати, млн дол.	тип	капітальні витрати, млн дол.	тип	капітальні витрати, млн дол.		
Ладизинська ТЕС									
1	300	ЕСФ	10,318	МСДГ	34,350	СКВ	24,000	68,668	0,585
2	300	ЕСФ	10,318	МСДГ	34,350	СКВ	24,000	68,668	0,585
3	300	ЕСФ	10,318	МСДГ	34,350	СКВ	24,000	68,668	0,585
4	300	ЕСФ	10,318	МСДГ	34,350	СКВ	24,000	68,668	0,585
5	300	ЕСФ	10,318	МСДГ	34,350	СКВ	24,000	68,668	0,585
6	300	ЕСФ	10,318	МСДГ	34,350	СКВ	24,000	68,668	0,585
Всього	1800		61,909		206,100		144,000	412,009	
Вуглегірська ТЕС									
1	300	ЕСФ	10,318	МСДГ	34,350	СКВ	24,000	68,668	0,572
2	300	ЕСФ	10,318	МСДГ	34,350	СКВ	24,000	68,668	0,572
3	300	ЕСФ	10,318	МСДГ	34,350	СКВ	24,000	68,668	0,572
4	300	ЕСФ	10,318	МСДГ	34,350	СКВ	24,000	68,668	0,572
Всього	1200		41,273		137,400		96,000	274,673	
Зміївська ТЕС									
1	175	ЕСФ	6,019	НСД	0,656	СКВ	14,000	20,675	0,563
2	175	ЕСФ	6,019	НСД	0,656	СКВ	14,000	20,675	0,563
7	290	ЕСФ	9,974	МСДГ	33,205	СКВ	23,200	66,379	0,623
8	325	ЕСФ	11,178	МСДГ	37,213	СКВ	26,000	74,390	0,640
9	280	ЕСФ	9,630	МСДГ	32,060	СКВ	22,400	64,090	0,623
10	290	ЕСФ	9,974	МСДГ	33,205	СКВ	23,200	66,379	0,623
Всього	1535		52,794		136,995		122,800	312,589	

Продовження табл. 1.

Енергоблоки ТЕС	Потужність, МВт (2017)	Викиди пилу		SO ₂		NO _x		Капітальні витрати всього, млн дол.	Збільшення собівартості електроенергії, грн./кВт·год
		тип	капітальні витрати, млн дол.	тип	капітальні витрати, млн дол.	тип	капітальні витрати, млн дол.		
Трипільська ТЕС									
1	300	ЕСФ	10,318	МСДГ	34,350	СКВ	24,000	68,668	0,639
2	325	ЕСФ	11,178	НСД+ТФ	13,794	СКВ	26,000	50,972	0,499
3	300	ЕСФ	10,318	МСДГ	34,350	СКВ	24,000	68,668	0,639
4	300	ЕСФ	10,318	МСДГ	34,350	СКВ	24,000	68,668	0,639
Всього	1225		42,132		116,844		98,000	256,976	
Слов'янська ТЕС									
7	800	ЕСФ	27,515	НІД	115,150	СНКВ+СКВ	74,000	216,665	0,926
Всього	800		27,515		115,150			142,665	
Старобешівська ТЕС									
4	215	ЕСФ	7,395	–	0,000	–	0,000	7,395	0,089
5	175	ЕСФ	6,019	НІД	25,189	СНКВ+СКВ	18,500	49,708	0,962
8	200	ЕСФ	6,879	НІД	28,788	СНКВ+СКВ	18,500	54,166	0,962
9	200	ЕСФ	6,879	НІД	28,788	СНКВ+СКВ	16,188	51,854	0,962
10	175	ЕСФ	6,019	НІД	25,189	СНКВ+СКВ	18,500	49,708	0,962
11	200	ЕСФ	6,879	НІД	28,788	СНКВ+СКВ	18,500	54,166	0,962
12	200	ЕСФ	6,879	НІД	28,788	СНКВ+СКВ	16,188	51,854	0,962
13	175	ЕСФ	6,019	НІД	25,189	СНКВ+СКВ	122,563	153,770	0,962
Всього	1325		52,966		190,717		228,938	472,621	

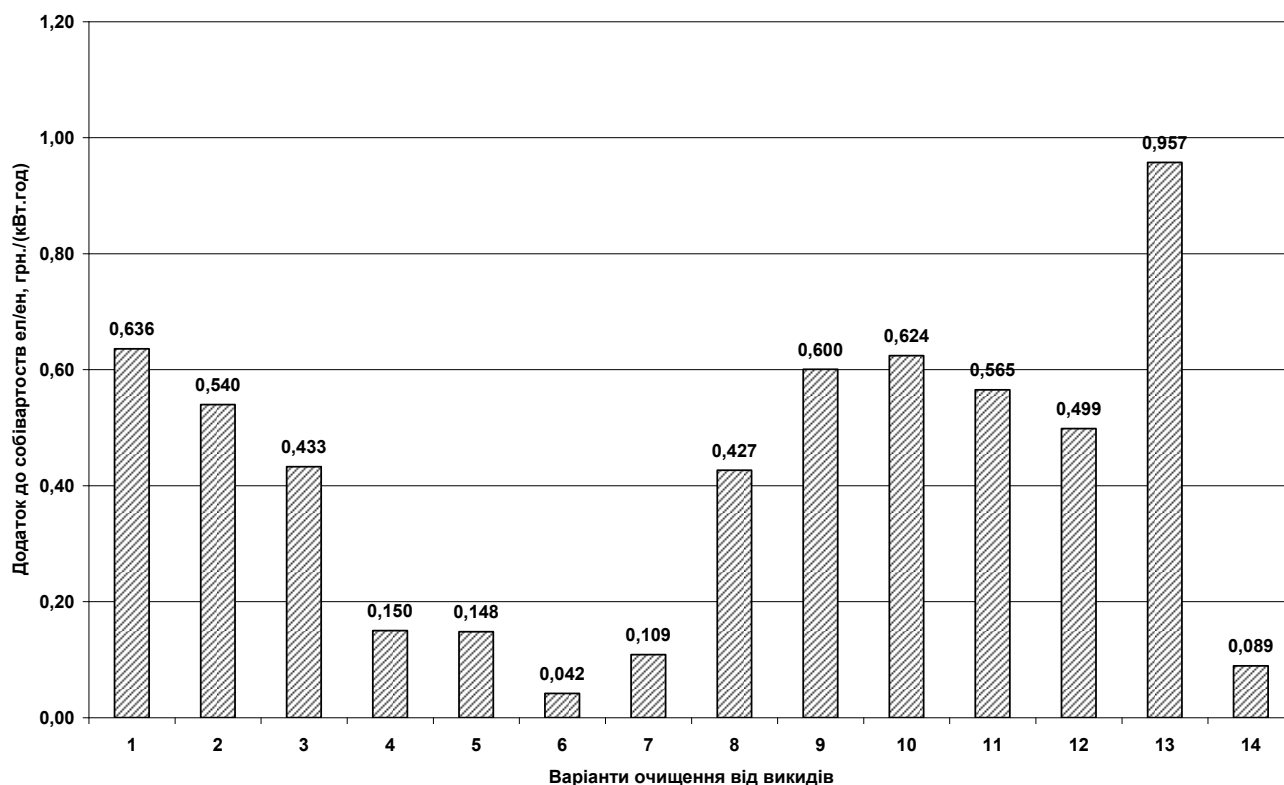


Рисунок. Середні значення збільшення собівартості електричної енергії по кожному з варіантів скорочення викидів з димовими газами на енергоблоках ТЕС

Проаналізовано вплив впровадження газоочисного обладнання на собівартість електричної енергії на ТЕС за життєвий цикл. З діаграми на рисунку видно, що зростання собівартості електроенергії складатиме: мінімально 4,2 коп./кВт·год у варіанті 6 (відсутні сіркоочистка та золоочистка, лише селективне некаталітичне відновлення); максимально 95,7 коп./кВт·год у варіанті 13 (новітня інтегрована десульфуризація; електростатичний фільтр; селективне некаталітичне відновлення + селективне каталітичне відновлення).

Поточні технологічні нормативи допустимих викидів (мг/м³) до 31.12.2027 р. не повинні перевищувати [14]:

– SO₂ – за потужності від 100 до 500 МВт лінійно зменшується від 2000 до 400; за потужності більше 500 МВт дорівнює 400;

– пилу – за потужності від 100 до 500 МВт – 100; за потужності більше 500 МВт – 50;

– NO_x – за потужності від 100 до 500 МВт – 600; за потужності більше 500 МВт – 200;

Враховуючи вимоги ЄС щодо нормативних викидів з димовими газами, за даними з НПСВ про поточні викиди пилу, NO_x та SO₂ розраховано викиди після впровадження заходів щодо очищення димових газів на енергоблоках ТЕС, що працюють на вугіллі, та визначено варіанти, які задовольняють вимоги ЄС за всіма основними викидами: пилових частинок, двооксиду сірки, оксидів азоту,

а саме варіанти 1 (МСДГ, ЕСФ, СКВ+СНКВ); 9 (МСДГ, ЕСФ, СКВ); 13 (НІД, ЕСФ, СКВ+СНКВ). Заплановані заходи на 31 енергоблоці з 61 відповідатимуть нормативам ЄС щодо всіх викидів. Додаток до собівартості електроенергії при встановленні природоохоронного обладнання за цими варіантами складатиме в середньому по вибірці енергоблоків (коп./кВт·год) 63,6; 60,0; 95,7 відповідно. З цих трьох варіантів найбільш економічним є 9-й варіант поєднання різних технологій для очищення димових газів від основних забруднюючих речовин. За цим варіантом в НПСВ заплановані заходи щодо зменшення викидів на таких енергоблоках: Запорізька ТЕС № 2; Бурштинська ТЕС № 8 і 9; Ладжинська ТЕС № 1–6; Вуглегірська ТЕС № 1–4; Зміївська ТЕС № 7–10; Трипільська ТЕС № 1, 3, 4; всього на 20 енергоблоках.

Викиди пилу значно перевищують технологічний норматив у варіантах, де відсутня золоочистка, а саме у варіантах 2, 6 і 8. При встановленні на енергоблоках електрофільтрів або тканинних фільтрів викиди пилу будуть незначними. При впровадженні на енергоблоках систем СНКВ, СКВ або СНКВ+СКВ викиди оксидів азоту не перевищуватимуть технологічний норматив. Викиди NO_x незначно перевищують технологічний норматив лише для енергоблоків № 3 і 4 Запорізької ТЕС. Найгірша ситуація з викидами двооксиду сірки, у варіантах, де відсутня сіркоочистка або заплано-

вана напівсуха десульфуризація, викиди значно перевищуватимуть технологічний норматив. При встановленні на енергоблоках систем мокрої вапнякової очистки або новітньої інтегрованої десульфуризації викиди SO_2 не перевищуватимуть технологічний норматив.

ВИСНОВКИ

1. Розраховано капітальні витрати для кожної технології, а також загальні на впровадження заходів щодо очищення димових газів від SO_2 , NO_x і пилу для існуючих енергоблоків ТЕС України, що працюють на вугіллі. Показано, що впровадження обладнання для очищення димових газів від основних забруднювачів повітря потребує значних інвестицій у природоохоронні заходи на ТЕС, які складуть сумарно 2965,514 млн дол. США. Необхідне залучення іноземних інвестицій для зменшення викидів з димовими газами в тепловій енергетиці України.

2. Проаналізовано вплив впровадження газоочисного обладнання на собівартість електричної енергії за життєвий цикл для енергоблоків ТЕС України, що спалюють вугілля. Показано, що зростання собівартості електроенергії складатиме від 4,2 до 95,7 коп./кВт·год для різних варіантів запланованих заходів згідно НПСВ.

3. Враховуючи вимоги ЄС щодо технологічних нормативів викидів з димовими газами, визначено три варіанти, що задовольняють вимоги ЄС за всіма основними викидами: пилових частинок, двооксиду сірки, оксидів азоту. Показано, що заплановані заходи на 31 енергоблоці з 61 відповідатимуть нормативам ЄС щодо всіх основних викидів.

4. Визначено найбільш економічний варіант поєднання різних технологій для очищення димових газів від забруднюючих речовин, що відповідає нормативам ЄС за всіма основними викидами: мокра вапнякова очистка; електростатичний фільтр; селективне каталітичне відновлення. Зростання собівартості електроенергії за цим варіантом складатиме 60 коп./кВт·год.

1. Про внесення змін у додатки 1—4 до Національного плану скорочення викидів від великих спалювальних установок: Розпорядження Кабінету Міністрів України від 24 липня 2019 року № 597-р URL: http://mre.kmu.gov.ua/minugol/control/publish/article?art_id=245393648 (дата звернення: 01.08.2019).
2. Projected Costs of Generating Electricity. Nuclear energy agency. International energy agency. 2010. 230 p.

3. Питомі витрати палива на відпуск електроенергії енергетичними компаніями та електростанціями України за 12 міс. 2018 р. Статистика Міністерства енергетики та вугільної промисловості України.
4. Вартість енергетичного вугілля. *Українська енергетична біржа*. URL: <https://www.ueex.com.ua/exchange-quotations/Coal%20products/> (дата звернення: 18.07.2019).
5. Податковий кодекс України. Державна фіскальна служба України. URL: <http://sfs.gov.ua/nk/rozdil-viii-ekologichniy-poda/> (дата звернення: 01.08.2019).
6. Сжигание топлива на крупных установках с целью производства энергии. ИТС 38-2017. Росстандарт, 2017. 280 с. URL: <https://www.gost.ru/documentManager/rest/file/load/1514722008592> (дата звернення: 03.06.2019).
7. Попета В.В. Использование рукавных фильтров для улавливания ванадийсодержащей золы продуктов сгорания. URL: http://www.sovstroymat.ru/2000_07_05.php (дата звернення 10.06.2019).
8. Тумановский А.Г. Природоохранные технологии на тепловых электростанциях. Презентация. М., ВТИ, 2015. 38 с. URL: https://www.imemo.ru/files/File/ru/conf/2015/26052015/26052015_PRZ_TUM.pdf (дата звернення: 01.07.2019).
9. Ежова Н.Н., Власов А.С., Делицын Л.М. Современные методы очистки дымовых газов. *Экология промышленного производства*. 2006. № 2. С. 50—57.
10. Шмиголь И.Н. Сероочистка дымовых газов для тепловых электростанций России. *Гірнична електромеханіка та автоматика*. 2011. Вип. 87. С. 143—150.
11. Ефимов А.В., Цейтлин М.А., Гончаренко А.Л. Технологические методы защиты окружающей среды от выбросов вредных соединений в энергетике и химическом производстве. Харьков: НТУ ХПИ, 2017. 217 с.
12. Долгополов В.Н. Безотходная сероочистка дымовых газов угольных ТЭС до евро норм с полной окупаемостью затрат. *Енергетика та електрифікація*. 2014. № 1. С. 27—35.
13. Отделение природоохранных технологий GE в России и странах СНГ. Альстом Пауэр Ставан. 2016, сентябрь. URL: <http://coaleco.ru/wp-content/uploads/2016/10/6-Lenyakin-GE-Coaleco2016.pdf> (дата звернення: 12.06.2019).
14. Про внесення змін до наказу Мінприроди від 22 жовтня 2008 року № 541: Наказ Міністерства екології та природних ресурсів від 16.02.2018 № 62. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0290-18#n6> (дата звернення: 01.08.2019).

Надійшла до редколегії: 04.11.2019