УДК 621.311

Кривда О. В.
канд. екон. наук, доцент
ORCID ID: 0000-0003-4398-6298;
Шахбазов І. О.
студент ТЕФ
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»,
м. Київ, Україна

ОЦІНКА ЕКОНОМІЧНОСТІ ВПРОВАДЖЕННЯ ЗАХОДІВ ЗМЕНШЕННЯ ВИКИДІВ З ДИМОВИМИ ГАЗАМИ НА ТЕС УКРАЇНИ

Сучасним світовим трендом в енергетиці є низьковуглецевий розвиток, пов'язаний з переходом від використання викопного палива до відновлювальних джерел енергії (ВДЕ). Однак, зі збільшенням постачання енергії з ВДЕ, у яких сталість виробництва електроенергії негарантована, проблема надійності електричних систем стає більш вагомою. Для такого переходу заміщення традиційного сектору енергетики відновлювальними джерелами слід виконувати поступово, водночас зменшуючи викиди з димовими газами з наявних енергоблоків. За Національним планом скорочення викидів (НПСВ) [1] для великих спалювальних установок, що працюють на вугіллі, оператори таких установок зобов'язані забезпечити поступове скорочення граничних річних обсягів викидів забруднюючих речовин: двооксиду сірки (SO_2), оксидів азоту (NO_x) та твердих частинок (пилу). Термін дії НПСВ розпочався 2018 р. та закінчується: для викидів пилу і SO_2 – 31.12.2028 р.; для NO_x через значну складність і вартість впровадження заходів – 31.12.2033 р. У нормативному документі вказано необхідне обладнання, яке спрямоване на зменшення викидів забруднюючих речовин, і термін впровадження технічних заходів. Проте в НПСВ не надані економічні розрахунки вартості впровадження окремих запланованих заходів і їх впливу на вартість виробленої енергії.

Дана робота присвячена визначенню економічних аспектів впровадження заходів щодо очищення димових газів від SO_2, NO_x і пилу на енергоблоках чинних ТЕС України, що працюють на вугіллі, та визначенню 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 - англ. Levelized Cost of Electricity) [2]. Додаток до собівартості електроенергії за рахунок впровадження заходів щодо очищення димових газів розраховується за формулою:

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

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: ΔM_t – на обслуговування та ремонти; ΔF_t – умовно змінні; E_t – виробництво електричної енергії (нетто), кВт·год; r – дисконтна ставка.

Тоді середньозважена собівартість виробництва електроенергії з урахуванням додатку дорівнює:

$$LCOE^* = \frac{\sum_{t=1}^{n} \frac{I_t + M_t + F_t}{(1+r)^t}}{\sum_{t=1}^{n} \frac{E_t}{(1+r)^t}} + \Delta c, \quad (2)$$

де I_t – інвестиційні витрати на впровадження об'єкту, грн; M_t – витрати на експлуатацію та технічне обслуговування електростанції, грн; F_t – витрати на паливну складову, грн.

Проаналізувавши джерела інформації з технічними і економічними показниками окремих технологічних заходів зі зменшення викидів, з'ясовано, що для уловлювання твердих частинок використовують електростатичні фільтри (ЕСФ; ККД 99%; питомі витрати: капітальні 25,6–46,4 дол./кВт; експлуатаційні 0,028–0,037 цент/кВт·год) і тканинні (рукавні) фільтри (ТФ; ККД 98%; питомі витрати: капітальні 36 дол./кВт; експлуатаційні 0,186 цент/кВт·год), для зменшення викидів NO_x [3] – селективне некаталітичне відновлення ((СНКВ) ККД 30–50% за питомих капітальних витрат 9,3–13,96 дол./кВт) і селективне каталітичне відновлення ((СКВ) ККД 80% за питомих капітальних витрат 65,13–83,74 дол./кВт), для очищення від SO_2 [3] – напівсуха десульфуризація ((НСД) ККД 50–60%; питомі капітальні витрати 1,67–5,3 дол./кВт; вартість уловлювання оксидів сірки 60,8 дол./т (0,216 цент/кВт·год)), мокре сіркоочищення димових газів ((МСДГ) ККД 95%; питомі капітальні витрати 83,74–

120,9 дол./кВт; вартість уловлювання оксидів сірки 73,6 дол./т (0,261 цент/кВт·год)), новітня інтегрована десульфуризація ((НІД, напівсухий метод) ККД 95%; питомі витрати: капітальні 46,52–65,13 дол./кВт; експлуатаційні 1,67–2,23 цент/кВт·год). Економічні дані перераховані за курсом 26,87 грн/дол. США (середній у 2020 р.).

Згідно з НПСВ сформовано 14 варіантів заходів з очищення димових газів від пилових частинок, двооксиду сірки та оксидів азоту. За допомогою програми Exel розраховано витрати на впровадження технологічних заходів (згідно з НПСВ) щодо очищення димових газів від SO_2, NO_x і пилу на енергоблоках існуючих ТЕС України, які працюють на вугіллі, собівартість електроенергії та збільшення її за рахунок очищення димових газів. Середні збільшення собівартості електроенергії по кожному з варіантів скорочення викидів надані на рисунку 1.

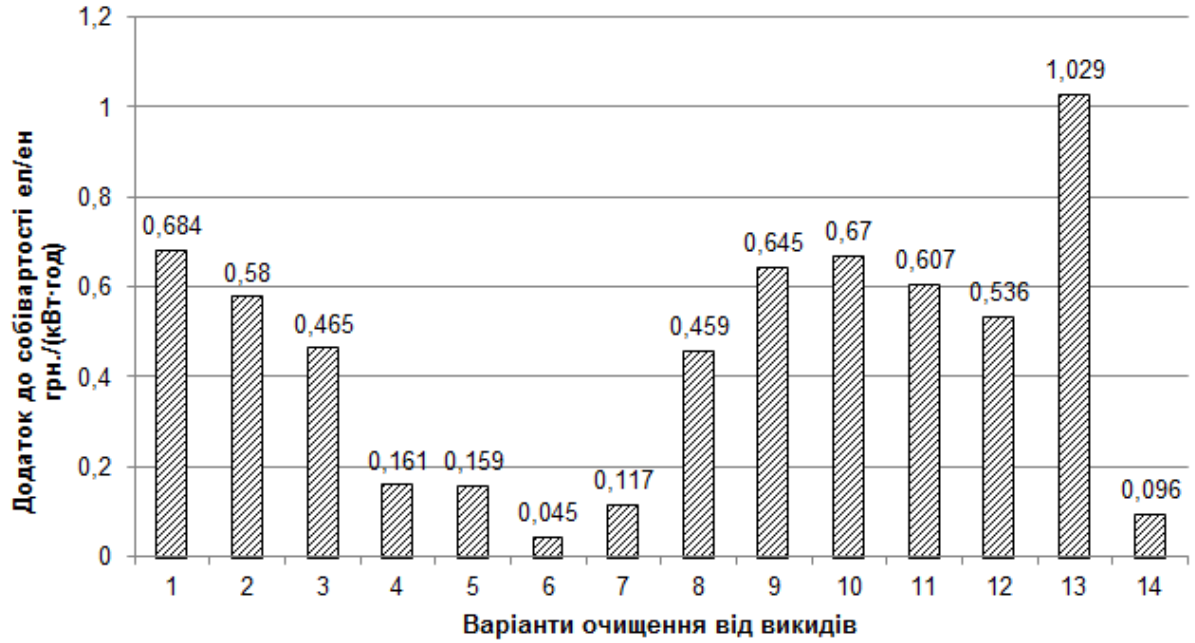

Рисунок 1 – Середні значення збільшення собівартості електричної енергії по кожному з варіантів скорочення викидів з димовими газами на енергоблоках ТЕС
Джерело: [2]

З діаграми на рисунку видно, що зростання собівартості електроенергії складатиме: мінімально 4,5 коп./кВт·год у варіанті 6 (відсутні сіркоочистка та золоочистка, лише селективне некаталітичне відновлення); максимально 103 коп./кВт·год у варіанті 13 (електростатичний фільтр; новітня інтегрована десульфуризація; селективне некаталітичне відновлення + селективне каталітичне відновлення).

Враховуючи вимоги ЄС щодо технологічних нормативів викидів з димовими газами, за даними з НПСВ про поточні викиди пилу, NO_x та SO_2, визначено варіанти, які задовольняють вимоги ЄС за всіма основними викидами: пилових частинок, двооксиду сірки та оксидів азоту, а саме варіанти 1 (МСДГ, ЕСФ, СКВ+СНКВ); 9 (МСДГ, ЕСФ, СКВ); 13 (НІД, ЕСФ, СКВ+СНКВ). З цих трьох варіантів найбільш економічним є 9-й варіант поєднання різних технологій для очищення димових газів від основних забруднюючих речовин.

Паралельно з розрахунками капітальних витрат на впровадження заходів щодо очищення димових газів від SO_2, NO_x і пилу для існуючих енергоблоків ТЕС України, також проаналізовано вплив впровадження газоочисного обладнання на собівартість електричної енергії за життєвий цикл. За визначеним найбільш економічним варіантом поєднання різних технологій для очищення димових газів від забруднюючих речовин, що відповідає нормативам ЄС, зростання собівартості електроенергії складатиме 64,5 коп./кВт·год.

Література:

1. Національний план скорочення викидів від великих спалювальних установок: Розпорядження Кабінету Міністрів України від 24 липня 2019 року № 597-р.

2. Projected Costs of Generating Electricity. Nuclear energy agency. International energy agency. 2010. 230 p.

3. Тумановский А.Г. Природоохранные технологии на тепловых электростанциях. Презентация. М., ВТИ, 2015. 38 с.