

УДК 504.05

ВПЛИВ РОБОТИ ОБОРОТНИХ СИСТЕМ ОХОЛОДЖЕННЯ ТЕПЛОВИХ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЙ НА ВИКИДИ ДІОКСИДУ СІРКИ

Р. В. Гусаренко-Барська,

Є. В. Гусаренко-Барська

здобувачки вищої освіти першого (бакалаврського) рівня, 3 курс,
спеціальність «Гідротехнічне будівництво, водна інженерія та водні технології»,
навчально-науковий інститут енергетики, автоматики та водного господарства

Науковий керівник – к.т.н., доцент В. Р. Гаєвський

*Національний університет водного господарства та природокористування,
м. Рівне, Україна*

У статті визначено річну масу викидів діоксиду сірки, що виникає через недостатньо ефективну роботу оборотних систем охолодження (ОСО) на прикладі теплоелектростанції (ТЕС) потужністю 2500 МВт. Розрахунок виконано за формулою, що базується на балансі мас, технологічних параметрах згорання палива, сіркоочищення та характеристик палива. Досліджено вплив недостатньо ефективної роботи ОСО на збільшення шкідливих викидів та висвітлено екологічні наслідки таких явищ на прикладі розрахунку контамінаційного еквівалента енергії (КЕЕ) без сіркоочищення та при сіркоочищенні димових газів. Розрахований об'єм викидів SO₂ представлено на прикладі товщини застигаючого шару міста Рівне.

Ключові слова: оборотна система охолодження, діоксид сірки, теплова електростанція, надлишкові викиди.

The article determines the annual mass of sulphur dioxide emissions arising from the insufficiently efficient operation of reverse cooling systems (RCS) on the example of a 2500 MW thermal power plant (TPP). The calculation was performed using a formula based on the mass balance, technological parameters of fuel combustion, desulphurisation, and fuel characteristics. The influence of insufficiently efficient operation of the RCS on the increase of harmful emissions is investigated and the environmental consequences of such phenomena are highlighted on the example of calculating the contamination equivalent of energy (CEE) without desulphurisation and with desulphurisation of flue gases. The calculated volume of SO₂ emissions is presented on the example of the thickness of the bedding layer in the city of Rivne.

Keywords: reversible cooling system, nitrogen dioxide, thermal power plant, excess emissions.

Сьогодні відбувається стрімкий розвиток в різних галузях, на фоні якого зростає попит на енергопостачання та енергоспоживання й водночас загострюються проблеми, пов'язані з впливом енергетики на довкілля у глобальному масштабі. Значного негативного впливу зазнає атмосфера та гідросфера, озера, річки та території, що знаходяться поряд з об'єктами паливно-енергетичного комплексу (ПЕК), де відбувається виробництво енергії та перетворення її з однієї форми в іншу. Основними наслідками такого впливу є парниковий ефект, теплове забруднення, кислотні дощі, виснаження озонового шару, забруднення токсичними хімічними речовинами та радіонуклідами, скорочення біологічної різноманітності тощо [1]. Тому виникає необхідність детального вивчення впливу роботи енергетичних об'єктів на довкілля, а також розробки ефективних заходів для переходу до більш чистих джерел енергії.

Енергетика є однією з найбільш енергоємних галузей промисловості, тому головною задачею в стратегії екологічного розвитку України до 2030 року є підвищення індексу екологічної ефективності (Environmental Performance Index, EPI) цієї галузі, яка насамперед полягає у зменшенні енергоємності валового внутрішнього продукту (ВВП). Згідно з цією стратегією електричні станції повинні відповідати екологічним нормативам, що допоможе підвищити рівень екологічної безпеки, зменшити вплив на зміну клімату та його наслідки [2].

В Україні найбільша частка згенерованої електроенергії припадає на атомні та теплові електростанції (АЕС та ТЕС) і складає близько 80% від всієї виробленої енергії в країні [3]. З погляду екологічної безпеки робота ТЕС завдає найбільшої шкоди довкіллю через використання органічних палив, таких як природний газ, мазут та кам'яне вугілля, які до того ж є вичерпними ресурсами.

В середньому для генерації 1 Дж електроенергії необхідно витратити 2,5 Дж енергії, що виробляється під час згорання палива у паросилової частині ТЕС. Внаслідок цього з димом в атмосферу надходить величезна кількість шкідливих речовин, що представлені у вигляді твердих частинок золи, діоксиду азоту, діоксиду сірки, оксиду та діоксиду вуглецю та викидів тепла. Розповсюдження шкідливих речовин, які надходять в атмосферу під час роботи ТЕС, відбувається за декілька діб на сотні кілометрів, що призводить до суттєвого порушення регіонального екологічного балансу у навколишньому середовищі [3].

Мета дослідження полягає у розрахунку викидів SO_2 , що утворюються під час згорання палива на тепловій електростанції потужністю 2500 МВт за умовою недостатньо ефективної роботи оборотних систем охолодження (ОСО), враховуючи наявність та відсутність сіркоочищення.

Теплоелектростанції є тепловими машинами, принцип дії яких полягає в перетворенні теплової енергії згорання палива у топці парового котла, в кінетичну енергію пари а далі, за допомогою турбіни – в електричну енергію. Важливу роль у цьому процесі відіграє конденсатор парової турбіни, за допомогою якого відпрацьована пара охолоджується за допомогою ОСО та перетворюється в конденсат і знову подається до котла для подальшої циркуляції. Під час роботи ТЕС утворюються шкідливі викиди від паросилової частини, а також скиди від ОСО.

За 2021 рік в Україні було вироблено 156,576 млн МВт·год електроенергії, з яких 37,225 МВт·год за допомогою ТЕС [3]. В середньому для вироблення 1 МВт·год електроенергії на ТЕС витрачається близько 150–300 м³ води. Згідно обсягу виробленої електроенергії у 2021 році українськими ТЕС було використано принаймні 5,584 млрд м³ води, з якої кількість свіжої води складає близько 10–20%. Близько 90% використаної води ТЕС приходить на роботу ОСО, за допомогою якої відбувається охолодження відпрацьованої пари в конденсаторі парових турбін. Таким чином у 2021 році використали близько 5,026 млрд м³ води і щонайменше 0,5–1,0 млрд м³ свіжої води.

При недостатньому охолодженні пари водою ОСО збільшується тиск в конденсаторі турбіни, внаслідок чого зменшується ефективність роботи конденсатора парової турбіни та в цілому ТЕС приблизно на той же відсоток. У такому разі посилюється навантаження на водні та паливні ресурси, оскільки збільшується їх споживання та шкідливі викиди. Це означає, що ефективність та економічність роботи ОСО значно впливає на екологію навколишнього середовища, зокрема на збереження водних ресурсів, а також якість повітря.

Неефективна робота ОСО призведе до збільшення викидів діоксиду сірки. Ця речовина є неорганічною бінарною сполукою складу SO_2 , яка за звичайних умов представлена у вигляді безбарвного газу з різким та задушливим запахом. Частка діоксиду сірки від об'єму усіх сірчаних сполук, які надходять в атмосферу внаслідок життєдіяльності людини, складає 95% [4]. Сьогодні діоксид сірки є основним забруднювачем атмосферного повітря,

антропогенна емісія якого у 5–7 разів перевищує обсяги природних джерел. До основних антропогенних джерел належить використання сірковмісного палива (вугілля, нафта), перероблення сульфідних руд (поліметалічні Ni, Co, Cu, Zn, Pb, Mo, Bi, Sb та Hg), хімічні процеси (синтез сірчаної кислоти, сульфокислот).

Діоксид сірки при перевищенні порогу $0,5 \text{ мг/м}^3$ є сильним подразником слизових оболонок і дихальних шляхів, оскільки легко розчиняється в слизі гортані та трахеї, викликає руйнацію білків легенів та вітаміну В₁. Коли в атмосферу надходить діоксид сірки, виникає реакція цієї речовини з водяною паром та утворюється вторинний збудник – сірчана кислота (H₂SO₄), яка легко переноситься на великі відстані. При реакції сірчистого ангідриду зі зваженими частками виникають солі сірчаної кислоти, які становлять найбільшу загрозу для здоров'я людини, бо при диханні осідають в легенях та накопичуються. Високі концентрації діоксидів сірки викликають задишку та навіть втрату свідомості [5]. Для такого забруднення найбільш вразливими є міста з розвинутою промисловістю.

Розрахуємо викиди діоксиду сірки на прикладі ТЕС потужністю 2500 МВт, що спалює за рік 6 млрд кг вугілля марки антрацит (АСШ) при недоохолодженні пари (недогріву води ОСО) на 1° С. Для розрахунку маси викидів використаємо формулу

$$M_{\text{тв}} = 2 \cdot 10^{-2} \cdot B \cdot S^p \cdot (1 - \eta') \cdot (1 - \eta''), \quad (1)$$

де B – витрата палива, (од.маси)/(од.часу); S^p – вміст сірки у паливі на робочу масу, %; η' – доля SO₂, що зв'язується леткою золою у котлі і для нашого випадку, згідно з [5; 6] рівна 10^{-3} (0,1%); η'' – доля SO₂, що вловлюється у вологому золовловлювачі і залежить від приведеної сірчистості палива S^p/Q^p (де Q^p – теплота згорання палива на робочу масу, МДж/кг).

Згідно з розрахунком за відсутності сіркоочищення, для технологічних параметрів згорання палива маса викидів становить 200 тис. тонн SO₂ в рік, тобто 3,3% від маси спалювального палива. Пораховано, що для вугілля марки АСШ контамінаційний еквівалент енергії становитиме 1,60 кг SO₂ на 1 ГДж виробленої електроенергії. Недостатньо ефективна робота ОСО, що призводить до підвищення температури відпрацьованої пари у конденсаторі турбіни всього на 1° С призведе до надлишкових викидів SO₂ при відсутності сірковловлювальних систем на 400 тонн в рік.

Пораховано, що при роботі системи сіркоочищення, ефективність якої становить близько 95%, валова кількість викидів SO₂ становитиме 10 тис. тонн за рік. Тоді КЕЕ буде рівний 0,079 кг/ГДж. Через недостатньо ефективну роботу ОСО потужність турбіни 500 МВт впаде на 1,0 МВт та збільшиться КЕЕ на 0,2%. Відповідно за наявності сірковловлювальних систем надлишкові викиди SO₂ збільшаться і становитимуть 20 тонн в рік.

Основні екологічні показники викидів діоксиду сірки наведено в таблиці.

Таблиця

Основні екологічні показники викидів діоксиду сірки для ТЕС потужністю 2500 МВт

Умови	Валові викиди, тис. тонн/рік	КЕЕ, кг/ГДж	Валові викиди при перегріві відпрацьованої пари на 1° С, тонн/рік
Без очищення	200	1,60	400
З очищенням	10	0,080	20

Розрахуємо весь об'єм газів SO₂, що утворюється в результаті спалювання палива без сіркоочищення за один рік. Оскільки, об'єм димових газів, що утворюються при спалюванні 1 кг вугілля становить $V_0 = 6,63 \text{ м}^3/\text{кг}$, то припустимо, що річний об'єм газів SO₂ за рахунок підвищення температури конденсату з 30° С до 31° С буде $V = 2,65 \cdot 10^6 \text{ м}^3$.

Додатково було розраховано висоту газів, які застелять місто Рівне, враховуючи

недостатньо ефективну роботу ОСО на ТЕС. Оскільки площа міста Рівне дорівнює $63,8 \text{ км}^2 = 6,38 \cdot 10^7 \text{ м}^2$, то висота, на яку маса газів від додаткового спалювання вугілля за один рік застелить Рівне, становитиме $h = 4 \text{ см}$. Проведемо ті ж самі розрахунки за умови наявності сіркоочищення, тоді при $V = 1,33 \cdot 10^5 \text{ м}^3$, висота маси газів складатиме $h = 2 \text{ мм}$.

Таким чином, недостатньо ефективна робота оборотних систем охолодження призводить до суттєвих негативних екологічних наслідків, що спричинюють необхідність більш ефективної роботи як ОСО, так і всієї ТЕС. І хоча системи сіркоочищення ТЕС здатні знизити обсяги надлишкових викидів діоксиду сірки в атмосферу, цього недостатньо для суттєвого зменшення навантаження на екологію. Для того, щоб досягти довгострокової екологічної стійкості необхідно думати над впровадженням нових, чистих джерел енергії.

1. Маляренко В. Енергетика і навколишнє середовище. Харків : САГА, 2008. 360 с. URL: <https://eprints.kname.edu.ua/5282/1/e-book.pdf> (дата звернення: 04.07.2024).
2. Міністерство захисту довкілля та природних ресурсів України. Ухвалено Стратегію екологічної безпеки та адаптації до зміни клімату до 2030 року. *Урядовий портал*. URL: <https://www.kmu.gov.ua/news/uhvaleno-strategiyu-ekologichnoyi-bezpeki-ta-adaptaciyi-do-zmini-klimatu-do-2030-roku> (дата звернення: 11.07.2024).
3. Головнєв С. Результати роботи ринку електроенергії в 2021 році. URL: <https://biz.censor.net/r3314011> (дата звернення: 20.07.2024).
4. Дворецька І. В., Марчук У. І., Савенець М. В. Основні характеристики сезонного ходу діоксиду сірки над територією Європи. 2013. URL: http://www.irbis-nbuv.gov.ua/cgi-bin/irbis_nbuv/cgiirbis_64.exe?C21COM=2&I21DBN=UJRN&P21DBN=UJRN&IMAGE_FILE_DOWNLOAD=1&Image_file_name=PDF/ktvsh_2013_7_23.pdf (дата звернення: 25.07.2024).
5. Гаєвський В. Р., Филипчук В. Л. Антропологічна оцінка необхідної ефективності очищення димових ТЕС від діоксиду сірки. *Стратегія сталого розвитку України: сьогодення та перспективи* : матеріали II Всеукраїнської інтернет-конференції, присвяченої 30-річчю кафедри екології, технології захисту навколишнього середовища та лісового господарства Національного університету водного господарства та природокористування, м. Рівне, 29–30 вересня 2022 р. Рівне : НУВГП, 2022. С. 187–188.
6. Филипчук В. Л., Гаєвський В. Р. Екологічна оцінка методів очищення димових газів ТЕС від діоксиду сірки. *Науково-інноваційний супровід збалансованого природокористування* : матеріали III Міжнародної науково-практичної інтернет-конференції, присвяченої пам'яті та 95-річчю з Дня народження професора С. Т. Вознюка, м. Рівне, 29–30 вересня 2022 р. Рівне : НУВГП, 2022. С. 27–28.