



ВПЛИВ ЕФЕКТИВНОСТІ РОБОТИ ОБОРОТНИХ СИСТЕМ ОХОЛОДЖЕННЯ ТЕС НА ВЕЛИЧИНУ ВИКИДІВ ОКСИДУ ВУГЛЕЦЮ

В.Р. Гаєвський, В.З. Кочмарський, В.Л. Филипчук

Національний університет водного господарства та природокористування

вул. Соборна, 11, Рівне, 33000, Україна

email: v.r.haievskiy@nuwm.edu.ua

Згідно стратегії екологічного розвитку України до 2030 року [1] для підвищення індекса екологічної ефективності (Environmental Performance Index, EPI) планується зменшення енергоємності ВВП з 0,286 кг (2020 рік) до 0,186 кг (2030 рік) умовного палива (у.п.) на один долар США. Оскільки одним із найбільш енергоємних галузей промисловості є енергетика, то така задача безпосередньо стосується цієї галузі. При цьому зменшення енергоємності неодмінно означає зменшення екологічних ризиків об'єктів, що виробляють електричну енергію. З точки зору екологічних проблем електричні станції взагалі і їх основні елементи повинні відповідати екологічним нормативам [2]. Для виробництва електричної енергії використовують різні типи енергогенеруючих систем, основними з яких в Україні за 2020 рік згідно [3] є:

- атомні електростанції (АЕС) — 53,90 %;
- теплові електростанції та теплоелектроцентралі (ТЕС і ТЕЦ) — 36,20 %;
- гідроелектростанції (ГЕС і ГАЕС) — 5,10 %;

Виробнича потужність енергоблоків ТЕС знаходиться у межах від 150 МВт до 3600 МВт. Основними ресурсами, необхідними для роботи електричних станцій є повітря, паливо і вода. Робота ТЕС неможлива без відведення частки тепла палива в навколишнє середовище. Загальна кількість ТЕС і АЕС в Україні близько 50. Кількість відведеного тепла від них, а це приблизно 1,86 Дж теплової енергії на 1 Дж виробленої електроенергії, суттєво впливає на екологічний стан навколишнього середовища. Під час роботи ТЕС в атмосферу у вигляді твердих та газоподібних відходів надходить велика кількість шкідливих речовин. Вони розповсюджуються за декілька днів на десятки і сотні кілометрів, що в свою чергу суттєво порушує регіональний екологічний баланс навколишнього середовища. Горіння палива супроводжується споживанням кисню, утворенням і поширенням у навколишньому середовищі продуктів згорання, що є шкідливими речовинами. Основна частина викидів шкідливих речовин ТЕС відноситься до паросилової частини (див. рис.). У їх складі тверді частинки (зола), діоксид азоту, діоксид сірки, оксид та діоксид вуглецю та викиди тепла.

За 2020 рік ТЭС України виробили 39,317 млн. МВт·год електроенергії [3]. Для різних типів ТЕС в середньому на 1 МВт·год виробленої електроенергії витрачається 150 - 300 м³ води. Отже на вироблення електроенергії у 2020 році ТЕС України використали мінімум 5,9 млрд м³ води з якої кількість свіжої води складає близько 10-20%. Основна частина спожитої води ТЕС (близько 90%) використовується оборотними системами охолодження (ОСО) для конденсації пари в конденсаторах парових турбін. В результаті для цього у 2020 році ОСО

використали щонайменше 0,6 – 0,8 млрд. м³ свіжої води. Це є суттєвим з точки зору загального водокористування і впливає на водний баланс України.

Зауважимо, що підвищення температури води ОСО збільшує тиск в конденсаторі турбіни і таким чином знижує коефіцієнт корисної дії турбіни, що при сталому виробітку енергії на стільки ж збільшує споживання палива і води.

Метою даної роботи є розрахунок викидів оксиду вуглецю на прикладі ТЕС потужністю 2500 МВт і оцінка наслідків недостатньо ефективної роботи ОСО для паросилової частини ТЕС (див. рис.). Масова кількість викидів СО згідно [4] визначається за співвідношенням

$$M_{CO} = 10^{-3} \cdot q_3 \cdot Q_H^p \cdot R \cdot V \cdot \left(1 - \frac{q_4}{100}\right), \quad (1)$$

де M_{CO} – викиди СО, т/рік; q_3 – втрата теплоти від хімічної неповноти згоряння, %; q_4 – втрата теплоти від механічної неповноти згоряння, %; Q_H^p – нижча теплота згоряння на робочу масу, МДж/кг; V – витрата палива, т/рік. Значення q_4 для характеристик палива ($A^p = 22,9\%$, $C_T = 4\%$, $Q_H^p = 20,89$ МДж/кг) та водного шлаковидалення ($\alpha_{вк} = 0,85$) $q_4 = 1,27\%$.

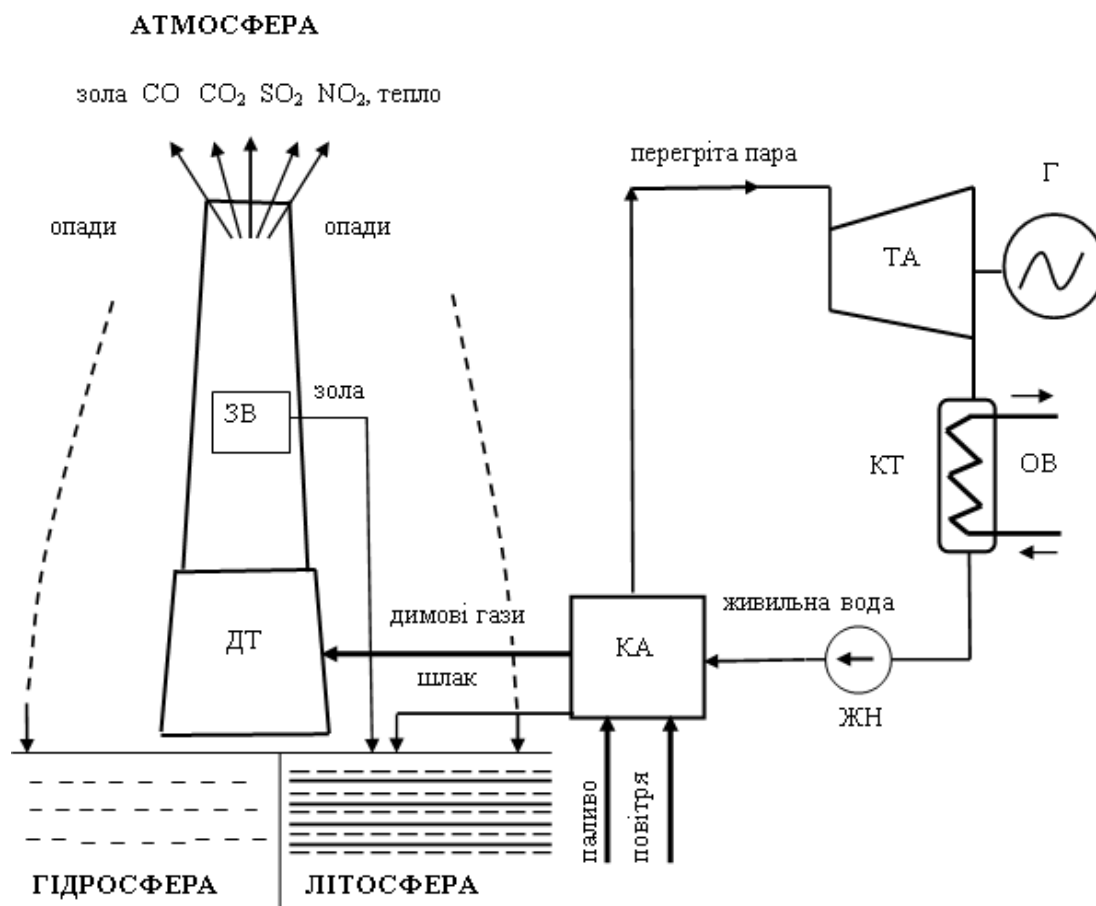


Рис. Схема екологічного впливу паросилової частини ТЕС. ДТ – димова труба; ЗВ – система золоуловлювання; КА – котлоагрегат; ЖН – живильний насос; ТА – турбоагрегат; Г – генератор; КТ – конденсатор турбіни; ОВ – охолоджуюча вода.

Втрата теплоти від хімічної неповноти згоряння визначається (без врахування вмісту у вугільних димових газах H_2 і CH_4) за формулою:

$$q_3 = \frac{V_{зг}}{Q_H^p} \cdot 126.5 \cdot CO \cdot \left(1 - \frac{q_4}{100}\right), \quad (2)$$

питомий об'єм димових газів від згоряння палива $V_{зг}$ (m^3/kg) розраховують за

$$V_{зг} = \frac{C^p + 0.375 \cdot S_{ор+к}^p}{0.54 \cdot (RO_2 + CO)}, \quad RO_2 = \frac{21}{(1+\beta) \cdot \alpha} \quad (3)$$

Коефіцієнт β визначається за співвідношенням:

$$\beta = 2.37 \cdot \frac{H^p - 0.126 \cdot O^p}{C^p + 0.375 \cdot S_{ор+к}^p} \quad (4)$$

Відповідно, величина CO дається виразом:

$$CO = \frac{(21 - \beta \cdot RO_2) - (RO_2 + O_2)}{0.65 + \beta} \quad (5)$$

Враховуючи, що для наших умов коефіцієнт надлишку повітря $\alpha = 1,15$, тоді $O_2 = 2.2\%$. Приймаючи цю величину, за (5) розрахуємо кількість викидів CO за умови, що $C^p = 63,8\%$; $S_{ор+к}^p = 1,7\%$; $H^p = 1,8\%$; $O^p = 1,3\%$ [5], а також $\beta = 0,06$; $RO_2 = 16,5\%$; $CO = 0,73\%$; $V_{зг} = 6,63 m^3/kg$; $q_3 = 2,75\%$. Тоді $M_{CO} = 373$ тис.тон/рік, що становить $6,22\%$ від маси спалювального палива. Контамінаційний коефіцієнт для вугілля марки АСШ буде становити $6,22 \cdot 10^{-2} / 20,89$ кг/МДж або 2.98 кг/ГДж.

Визначимо надлишок палива, який при збільшенні недогріву охолоджуючої води в КТ призводить до збільшення температури конденсації пари від $30^{\circ}C$ до $31^{\circ}C$ і до зниження потужності п'яти турбін (500 МВт) на $0,2\%$. Таке підвищення температури конденсації пари призводить до перевищення викидів CO на 750 тон на рік.

Можна показати, що підвищення температури конденсації на $1^{\circ}C$ приблизно рівне такому ж збільшенню недогріву охолоджуючої води, який може виникнути внаслідок нештатної роботи ОСО.

За співвідношенням (3) визначаємо питомий об'єм димових газів в результаті спалювання вугілля сорту АСШ ($V_{зг}$), отримуємо, що ця величина становить $6,63 m^3/kg$. Використовуючи ці дані, розраховуємо річний об'єм димових газів, які виділяє ТЕС потужністю 2500 МВт, що працює на вугіллі сорту АСШ на прикладі міста Києва. Оскільки $V_p = 6,63 \cdot 6 \cdot 10^9 = 39,78 \cdot 10^9$ (m^3), а площа Києва $S = 0,836 \cdot 10^9 m^2$, то за рік роботи такої ТЕС утворюються димові гази, об'єм яких утворює над Києвом стовп висотою $47,6$ м.

Екологічні показники ТЕС потужністю 2500 МВт, що використовує вугілля марки АСШ, розраховані за наведеною методикою, щодо оксиду вуглецю наведені у таблиці.

Таблиця.

Екологічні показники викидів оксиду вуглецю для ТЕС, потужністю 2500 МВт.

Шкідлива речовина	Валові викиди, тис.тон/рік	Контамінаційні коефіцієнти кг/ГДж	Валові викиди за рахунок недогріву води ОСО на 1°C тис.тон/рік
СО	373	2,98	0,75

Показано, що кількість шкідливих викидів, пов'язаних з недоліками роботи ОСО, які призводять до недогріву охолоджуючої води на 1°C рівна 0,75 тис.тон/рік.

Цікаво, що досліджувана умовна ТЕС за рік утворює об'єм димових газів, які відповідають об'єму стовпа над містом Києвом висотою близько 47 метрів. Такий результат вказує на безперспективність розвитку вугільної теплової енергетики без розробки заходів щодо покращення її ефективності.

Література:

1. Закон "Про Основні засади (Стратегію) екологічної політики України на період до 2030 року" // Відомості Верховної Ради (ВВР), 2019, № 16, ст.70. <https://zakon.rada.gov.ua/>
2. Закон України "Про основи національної безпеки України" // Відомості Верховної Ради України. - № 39. - 26.09.2003. <https://zakon.rada.gov.ua/>
3. Інформаційне агентство Мінпром. <http://minprom.ua/>
4. Внуков А. К. Защита атмосферы от выбросов энергообъектов: Справочник. – М.: Энергоатомиздат, 1992. – 176 с. ISBN 5-283-00105-9
5. Роддатис К. Ф., Полтарецкий А. Н. Справочник по котельным установкам малой производительности/Под ред. К. Ф. Роддатиса. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 488 с. ISBN 5-283-00018-4.