

DOI: <https://doi.org/10.32839/2304-5809/2020-4-80-50>

УДК 536.24: 621.184.5

Шелешей Т.В., Беднарська І.С.,
Майер Л., П'ятачук В.С.Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»**ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ СІРКООЧИСНИХ УСТАНОВОК
НА ВЕЛИКИХ ЕНЕРГЕТИЧНИХ ОБ'ЄКТАХ**

Анотація. Значну частину електроенергії України виробляють ТЕС та ТЕЦ, енергоносіями на яких є органічне паливо: вугілля, мазут, природний газ. В результаті їх спалювання в навколишнє середовище потрапляє велика кількість шкідливих речовин, що негативно впливають на населення та довкілля. Тому важливо зробити електро- та теплоенергію екологічно чистою. Основним забруднювачем атмосфери при спалюванні мазуту є сірчистий ангідрид. Основною метою дослідження є визначення найефективнішої сіркоочисної установки. В роботі розглядаються сіркоочисні установки. В статті приводиться розрахункове дослідження показника рівня емісії зазначених оксидів. Встановлено, що з усіх обраних видів сіркоочисних установок кращим виявився метод мокрого очищення – процес Велльмана-Лорда з використанням солей натрію.

Ключові слова: оксиди сірки, сірчистий ангідрид, показник емісії, екологічний стан, сіркоочисні установки.

Sheleshei Tetiana, Bednarska Inna,
Mayer Leonid, Pyatachuk Vyacheslav
National Technical University of Ukraine
“Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”**PROSPECTS OF USE OF SULFUR CLEANING PLANTS ON LARGE POWER PLANTS**

Summary. Energy industry is a basic industry in the country that ensures its sustainable development and is a source of electricity and heat. Most of Ukraine's electricity is produced by thermal power plants and thermal power plants, with the energy sources being organic fuel: coal, fuel oil, and natural gas. As a result of their combustion, a large number of harmful substances that adversely affect the population and the environment are released into the environment. Therefore, it is important to make the electricity and heat environmentally friendly. The most harmful emissions from large power plants are sulfur dioxide, nitrogen oxides and particulate matter. Sulfuric anhydride is the main air pollutant for combustion of fuel oil. About 50% of all sulfur oxides (CO₂, CO₃) are generated by fuel combustion in the energy and municipal sectors, and losses from such emissions make up about 55% of the total atmospheric pollution losses. In order to reduce atmospheric emissions in developed countries, combustion emission control systems are being installed at all times, despite the high cost of such systems. Therefore, the main purpose of the study is to determine the most efficient sulfur treatment plant, which is the most compatible with domestic equipment in the energy sector. The following sulfur treatment plants are considered in the work: wet purification (Wellman-Lord process using sodium salts), dry purification (Inset dry sorbent (DSI)), semi-dry purification (LIFAC process, as a development of DSI process with spray of water droplets), catalytic purification from sulfur and nitrogen oxides (DESONOX, SNOX) and others. The article provides a calculated study of the emission level of these oxides. For the analysis of sulfur treatment plants, flare burning with liquid slag was selected, while the low sulfur fuel oil of grade 40 was burned. It was found that of all selected types of sulfur treatment plants, the wet cleaning method was best – the Wellman-Lord process using sodium salts.

Keywords: sulfur oxides, sulfur dioxide, emission index, ecological status, sulfur treatment plants.

Постановка проблеми. Енергетика – це базова галузь країни, що забезпечує її сталий розвиток та є джерелом електроенергії та тепла. Значну частину електроенергії України виробляють ТЕС та ТЕЦ, енергоносіями на яких є органічне паливо: вугілля, мазут, природний газ. В результаті їх спалювання в навколишнє середовище потрапляє велика кількість шкідливих речовин, що негативно впливають на населення та довкілля. Тому важливо зробити електро- та теплоенергію екологічно чистою. Для досягнення того рівня викидів, який європейці досягли 20-25 років тому, урядом створена програма дій «Національний план скорочення викидів речовин від великих спалювальних установок (НПСВ)» [1]. НПСВ чітко вказує на механізм для енергокомпаній, як поступово має відбуватися зменшення викидів, тобто закладено лінійне

скорочення викидів від кожної спалювальної установки. Дев'яносто великих спалювальних установок, що увійшли до НПСВ, потребують інвестицій у 5-6 мільярдів євро за 15 років, які мають бути використані на газоочисні установки. Це таку саму суму треба вкласти і в реконструкцію основного обладнання.

Найшкідливіші викиди від великих енергетичних установок – це діоксид сірки, оксиди азоту та тверді частинки. Порівнюючи фактичні концентрації шкідливих речовин на ТЕС України та вимоги Директиви 2010/75/ЄС про промислові викиди, в Україні викиди діоксиду сірки та оксиду азоту перевищують у 10–30 разів тобто перевищують мільйон тон на рік [2].

У провідних європейських країнах 20% становлять витрати на екологічні заходи. В Україні 85%-90% вартості електроенергії становить па-

ливо. Така ситуація вимагає підібрати найкраще обладнання для очистки димових газів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Питанням десульфуризації займаються багато вчених. У роботі І.А.Вольчин та Л.С. Гапонич [3] визначають необхідний ступінь сіркоочищення димових газів та пріоритетний метод сіркоочищення для впровадження на ТЕС України. Для цього було виконано аналіз сучасних методів і технологій очищення димових газів від SO_2 , розрахунок і узагальнення валових та питомих викидів діоксиду сірки у димових газах ТЕС. Встановлено, що значення питомих концентрацій діоксиду сірки в сухих димових газах на ТЕС України залежно від марки палива, його сірчистості та способу шлаковидалення в котлі. *Баторшин В.А. [4] розглядає проблеми вирішення даного питання в США.*

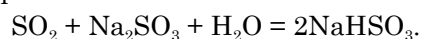
Наукова робота, виконана І.А. Вольчиним, О.М. Коломієць та А.О Ясинецьким [5] досліджує процеси сіркоочищення напівсухим амонійним методом. В цій роботі виявлено вплив способу подачі рідини у робочу зону, витрати води та додаткового повітря на ефективність процесу десульфуризації.

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми. Основною задачею науковців в сфері енергетики є зменшення викидів в навколишнє середовище, це можна зробити багатьма способами. Один з цих способів – це установка ефективних сіркоочисних споруд. Тому варто зосередитись на визначенні найефективнішої з точки зору екології сіркоочисної установки.

Мета статті. Щоб зменшити викиди в атмосферу у розвинених країнах повсякчасно встановлюються системи контролю викидів продуктів згорання, не дивлячись на велику вартість таких систем. Тому основною метою дослідження є визначення найефективнішої сіркоочисної установки, яка є найбільш сумісною з вітчизняним обладнанням в енергетиці.

Виклад основного матеріалу. До широкого спектру сіркоочисних установок відносять: мокре очищення (процес Веллмана-Лорда з використанням солей натрію), сухе очищення (інжекція сухого сорбенту (DSI)), напівсухе очищення (процес LIFAC, як розвиток процесу DSI з розпилом крапель води), каталітичне очищення від оксидів сірки і азоту (DESONOX, SNOX) та ін. Розглянемо їх принцип дії детальніше [5–7].

Спосіб мокрого очищення Веллмана-Лорда заснований на використанні сіркокислотних солей натрію:



Зарубіжний досвід застосування такої технології показав, що для ТЕС використання цього способу може бути виправдано тоді, коли регенерацію проводять на спеціальному хімічному виробництві, не пов'язаному з енергетикою. При цьому дана технологія, як і будь-яка циклічна, вимагає постійної витрати димових газів, тобто постійного навантаження енергоблоку (котла), на якому споруджене таке сіркоочищення.

Спосіб сухого очищення (інжекція сухого сорбенту (DSI)) варто використовувати для зменшення викидів при спалюванні палива, отриманих в умовах експлуатації в нестационарному

стані в системі спалювання палива, що має шлях проходження газу, який проходить від камери спалювання палива через розпилювальну сушарку-абсорбер в рукавний фільтр, розташованій нижче по ходу потоку від розпилювальної сушарки-абсорбера.

При напівсухому очищенні (процес LIFAC як розвиток процесу DSI з розпилом крапель води) реакційне середовище, створене уприскуванням води, значно підвищує утилізацію оксиду кальцію. Чим ближче до температури точки роси, охолоджуються димові гази, тим ефективніше йде процес зв'язування оксидів сірки. Розпил води і оптимальний розмір краплі досягається за допомогою системи сопел, які виробляють розпил під тиском. Робоча температура в активаційному реакторі на 10-15% перевищує температуру точки роси, в силу чого димові гази і продукти реакції залишаються сухими.

Каталітичне очищення від оксидів сірки і азоту (DESONOX, SNOX) полягає в тому, що до потоку димових газів, зазвичай в зоні економайзера, входить аміак. На відстані 0,5–1,5 м від неї розташована касета з каталізатором (V_2O_5 або інші). При цьому одна з головних проблем – зменшення опору каталізатора. Розроблена технологія каталізаторів дозволяє в 2-3 рази знизити вміст платинових металів в порівнянні з аналогами без зниження ефективності очистки та ресурсу роботи нейтралізаторів.

Звісно ж, при поєднанні різних технологічних процесів очищення в одному циклі можна домогтися істотного зниження викидів SO_x . Але варто підкреслити, що витрати на очищення газів від оксидів сірки, включаючи каталітичні методи, щонайменше на 1–2 порядки перевищують вартість методів, які знижують їх утворення. Тому очищення слід застосовувати після використання наявних методів придушення, якщо потрібно більш істотне зниження концентрації SO_x .

Для того, щоб визначити ефективність зниження викидів оксидів сірки в атмосферу, варто провести розрахункове дослідження показника рівня емісії зазначених оксидів.

Показник емісії визначається з урахуванням ефективності зв'язування сірки золою або сорбентом у енергетичній установці, ефективності очистки димових газів від оксидів сірки та коефіцієнту роботи сіркоочисної установки за формулою [8]:

$$k_{\text{SO}_2} = \frac{10^6}{Q_i} \frac{2S^r}{100} (1 - \eta_I)(1 - \eta_{II}^2) \quad (1)$$

де Q_i^r – нижча робоча теплота згорання палива, МДж/кг; S^r – вміст сірки в паливі на робочу масу за проміжок часу P , %; η_I – ефективність зв'язування сірки золою або сорбентом у енергетичній установці; η_{II} – ефективність очистки димових газів від оксидів сірки; β – коефіцієнт роботи сіркоочисної установки.

Для аналізу сіркоочисних установок було вибрано факельне спалювання з рідким шлаковидаленням, при цьому спалювався малосірчистий мазут марки 40. Відповідно до вищезазначеного, було проведено розрахунки і отримані результати наведено в таблиці 1.

Відповідно до даних таблиці побудовано залежність викидів від ефективності очистки димо-

Результати розрахунків показника емісії оксидів сірки при використанні різних сіркоочисних установок та без них

	Тип сіркоочисної установки	η_{II}	β	$k(SO_2)$, г/ГДж
1	Без очищення	0	0	461,28931
2	Сухе очищення – інжекція сухого сорбенту (DSI)	0,45	0,98	257,86073
3	Напівсухе очищення – процес LIFAC як розвиток процесу DSI з розпилом	0,8	0,98	99,638491
4	Каталітичне очищення від оксидів сірки і азоту (DESONOX, SNOX)	0,95	0,99	27,446714
5	Мокре очищення – процес Велльмана-Лорда з використанням солей натрію	0,97	0,99	18,313186

Джерело: розроблено авторами

вих газів від оксидів сірки та коефіцієнта роботи сіркоочисної установки, що показано на рисунку 1 та 2 відповідно.

З графіків видно, що найефективнішою установкою з точки зору екології є спосіб мокрого очищення (процес Велльмана-Лорда з використан-

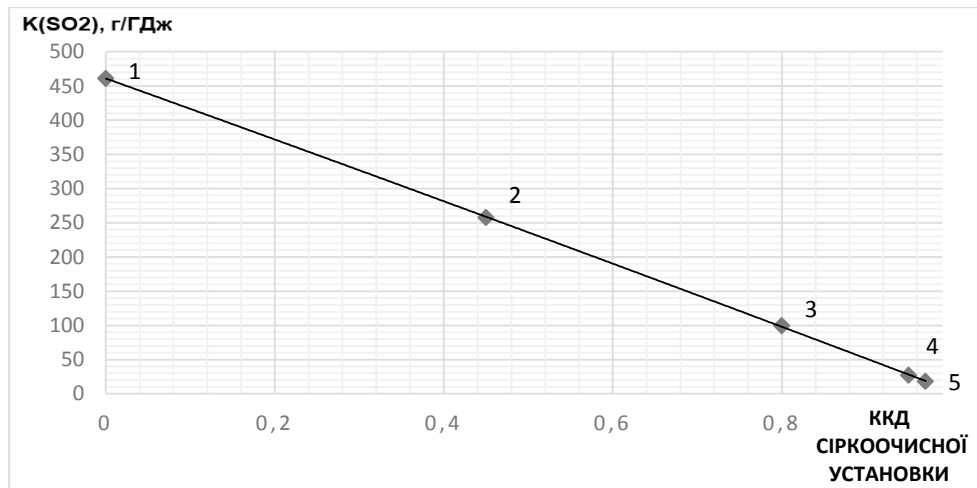


Рис. 1. Залежність викидів сірки від ефективності очистки димових газів: 1 – без встановлення сіркоочисної установки; 2 – сухе очищення (інжекція сухого сорбенту (DSI)); 3 – напівсухе очищення (процес LIFAC як розвиток процесу DSI з розпилом); 4 – каталітичне очищення від оксидів сірки і азоту (DESONOX, SNOX); 5 – мокре очищення (процес Велльмана-Лорда з використанням солей натрію)

Джерело: розроблено авторами

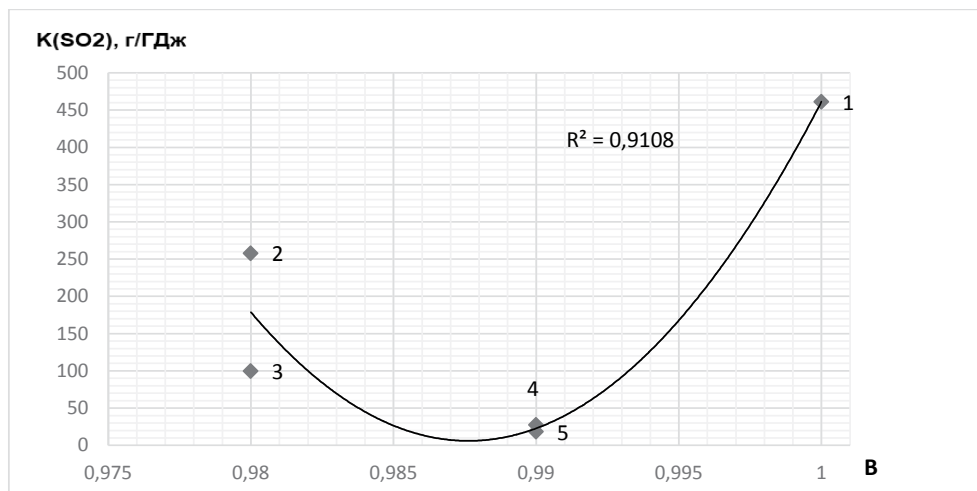


Рис. 2. Залежність викидів сірки від коефіцієнту роботи сіркоочисної установки: 1 – без встановлення сіркоочисної установки; 2 – сухе очищення (інжекція сухого сорбенту (DSI)); 3 – напівсухе очищення (процес LIFAC як розвиток процесу DSI з розпилом); 4 – каталітичне очищення від оксидів сірки і азоту (DESONOX, SNOX); 5 – мокре очищення (процес Велльмана-Лорда з використанням солей натрію)

Джерело: розроблено авторами

ням солей натрію), а не таким ефективним є сухе очищення (інжекція сухого сорбенту (DSI)).

Висновки і пропозиції. Розглянуто наступні способи для зниження викидів оксидів сірки: мокре очищення (процес Велльмана-Лорда з використанням солей натрію), сухе очищення (інжекція сухого сорбенту (DSI)), напівсухе очищення (процес LIFAC, як розвиток процесу DSI з розширом крапель води), каталітичне очищення від оксидів сірки і азоту (DESONOX, SNOX).

Проведено порівняльний аналіз рівня емісії сіркового ангідриду при спалюванні малосір-

чистого мазуту марки 40 при факельному спалюванні з рідким шлаковидаленням, використовуючи вище вказане сіркоочищення обладнання.

Отже, встановлено, що з усіх обраних видів сіркоочищення установок кращим виявився метод мокрого очищення – процес Велльмана-Лорда з використанням солей натрію. Сміливо можна сказати, що, встановивши такі установки сьогодні, ми покращимо життя в недалекому майбутньому, знизивши при цьому ризик захворювань спричинених шкідливими викидами сірки.

Список літератури:

1. Національний план скорочення викидів від великих енергетичних установок, від 8 листопада 2017 року № 796-р. Київ. Розпорядження, Кабінет Міністрів України. С. 99.
2. Khmara D. O. "Comparative analysis of ecological component in energy strategies of Ukraine and EU", Materials of public discussion carried out jointly with the Committee of the VR of Ukraine on May 15, 2008. Kyiv, 2008, pp. 34–39.
3. Вольчин І.А., Гапонич Л.С., Згоран І.П. Вибір технології десульфуризації димових газів для українських вугільних теплових електростанцій. *Наукові праці Національного університету харчових технологій*. 2018. Т. 24. № 4. С. 154–168.
4. Баторшин В.А., Котлер В.Р. Решение экологических проблем в угольной энергетике США. *Энергохозяйство за рубежом*. 2014. № 1. С. 15–20.
5. Вольчин І.А., Коломієць О.М., Ясинецький А.О. Числове дослідження процесу сіркоочищення за напівсухим амонійним методом. *Енерготехнології та ресурсозбереження*. 2015. № 3. С. 29–37.
6. Федоренко О.І. Екологія та енергозбереження України. *Енергетична безпека України. Серія «Охорона навколишнього середовища»*. Серпень 2005. № 8. С. 19–27.
7. Тумановський А.Г. Экологические проблемы тепловых электростанций. *Электрические станции*. 2005. № 1. С. 17–27.
8. ГКД 34.02.305-2002. Викиди забруднювальних речовин у атмосферу від енергетичних установок. Методика визначення. Київ, 2002.

References:

1. Natsionalnyy plan skorochennya vykydiv vid velykykh enerhetychnykh ustanovok [National Emissions Reduction Plan for Large Power Plants], vid 8 lystopada 2017 roku № 796-r. Kyiv. Rozporyadzhennya, Kabinet Ministriv Ukrayiny.
2. Khmara, D.O. (2008). Comparative analysis of ecological component in energy strategies of Ukraine and European Union. Materials of public discussion carried out jointly with the Committee of the Verkhovna Rada of Ukraine on the issues of lifetime extension on May 15. Kyiv, pp. 34–39.
3. Volchin, I., Gaponich, L., & Zgoran, I. (2018). Choice of flue gas desulfurization technology for Ukrainian coal thermal power plants. *Scientific papers of the National University of Food Technologies*, vol. 24, no. 4, pp. 154–168.
4. Batorshin, V., & Kotler, V. (2014). Addressing Environmental Issues in US Coal Energy. *Energy industry abroad*, no. 1, pp. 15–20.
5. Volchin, I.A., Kolomiets, O.M., & Jasinetsky, A.O. (2015). Numerical study of the process of sulfur purification by semi-dry ammonium method. *Energy technologies and resource saving*, no. 3, pp. 29–37.
6. Fedorenko, O.I. (2005). Ekolohiya ta enerhozberezhennya Ukrayiny. Enerhetychna bezpeka Ukrayiny [Ecology and energy saving of Ukraine]. *Ukraine's energy security. Environmental Protection Series*, August, no. 8, pp. 19–27.
7. Tumanovskyy, A.H. (2005). Ekolohycheskye problemy teplovykh élektrostantsyy [Environmental problems of thermal power plants]. *Power Plants*, no. 1, pp. 17–27.
8. НКД 34.02.305-2002. Vykydy zabrudnyval'nykh rehovyn u atmosferu vid enerhetychnykh ustanovok. Metodyka vyznachennya [SCC 34.02.305-2002. Emissions of pollutants into the atmosphere from power plants. Method of determination]. Kyiv, 2002.