

DOI: <https://doi.org/10.32839/2304-5809/2020-5-81-28>

УДК 536.24:621.184.5

Шелешей Т.В., Беднарська І.С.,

Майер Л., Юрчук В.С.

Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ РІВНЯ ЕМІСІЇ ОКСИДІВ АЗОТУ ПРИ СПАЛЮВАННІ АНТРАЦИТОВОГО ШТИБУ НА РІЗНИХ ЕНЕРГЕТИЧНИХ УСТАНОВКАХ

Анотація. Споживання енергії тісно пов'язане з усіма видами людської діяльності. Сьогодні викиди від теплових електростанцій в Україні у 5–30 разів перевищують встановлені стандарти Європейського Союзу та є основним забруднювачем атмосферного повітря в країні. Негативний вплив шкідливих компонентів, таких як оксиди азоту, на здоров'я населення, флору і фауну, будівельні об'єкти і споруди не обмежується територією, що прилягає до джерел викидів, а поширюється на сотні й тисячі кілометрів. Тому в даний час забруднення довкілля набуває глобального характеру, а витрати на його охорону стали сумірні з величиною екологічного збитку. Головною метою цієї статті є провести розрахункове дослідження рівня емісії оксидів азоту при спалюванні антрацитового штибу на різних енергетичних установках. Проведено порівняльний аналіз рівня емісії оксидів азоту при спалюванні антрацитового штибу у вищезазначеному обладнанні. Встановлено, що найоптимальнішою установкою з точки зору екологічності є циркулюючий киплячий шар, найгіршою – установка з рідким шлаковидаленням при факельному спалюванні.

Ключові слова: оксиди азоту, показник емісії, екологічний стан, циркулюючий киплячий шар, нерухомий шар, рідке шлаковидалення, тверде шлаковидалення.

Sheleshei Tetiana, Bednarska Inna,

Mayer Leonid, Yurchuk Victoriya

National Technical University of Ukraine

"Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute"

COMPARATIVE ANALYSIS OF THE LEVEL OF EMISSIONS OF NITROGEN OXIDES DURING THE COMBUSTION OF ANTHRACITE PILLAR AT DIFFERENT ENERGY INSTALLATIONS

Summary. Energy consumption is closely linked to all kinds of human activity. Today, emissions from thermal power plants in Ukraine are 5-30 times higher than the established standards of the European Union and are the main air pollutant in the country. Therefore, providing favorable living conditions for the inhabitants of the cities of our country is an urgent problem that requires a clear analysis of the impact of harmful emissions of thermal power plants on the environment and the adoption of ways to solve this environmental problem. The impact of harmful emissions from thermal power plants depends on the quantitative and qualitative characteristics of the waste, which is released during the successive technological chain of the plant. The main causes of such catastrophic environmental problems are: the use of low-grade fuel; outdated equipment manufacturing technology; high concentration of industrial facilities. The negative impact of harmful components, such as nitrogen oxides, on the health of the population, flora and fauna, buildings and structures is not limited to the area adjacent to the emission sources, but extends for hundreds and thousands of kilometers. Therefore, currently environmental pollution is becoming global in nature, and the cost of its protection has become commensurate with the magnitude of environmental damage. Nitrogen oxides (NOx) are formed during the combustion of all fossil fuels containing nitrogen compounds, as well as those that do not, due to the oxidation of nitrogen in the air. Their concentration is determined by the mode and organization of fuel combustion processes. Nitrogen oxides have a detrimental effect on human health, contribute to the formation of the greenhouse effect and the destruction of the ozone layer, in addition, cause "extinction of forests", acid rain and so on. The main purpose of this article is to conduct a calculated study of the level of nitrogen oxide emissions during the combustion of anthracite-type at various power plants. Such installations are: boilers with circulating fluidized bed and fixed bed, as well as boiler plants with liquid slag removal and solid slag removal. A comparative analysis of the level of emission of nitrogen oxides during the combustion of anthracite in the above equipment. It is established that the most optimal installation from the point of view of environmental friendliness is the circulating fluidized bed, the worst – the installation with liquid slag removal at flaring.

Keywords: nitrogen oxides, emission index, ecological status, circulating fluidized bed, fixed bed, liquid slag removal, solid slag removal.

Постановка проблеми. Забруднення навколишнього середовища в досить розвинених країнах світу є одним з найголовніших і найбільш актуальних питань нашого часу і це насправді потребує великої уваги зі сторони як громади, так і державних органів, зокрема велику увагу приділяють вивченню впливу на стан довкілля виробництва енергії. Споживання енер-

гії тісно пов'язане з усіма видами людської діяльності, такі як: опалення будинків, приготування їжі, рух транспортних засобів, сільськогосподарське виробництво і т. д. Але в Україні, порівняно з іншими країнами, зовсім інша ситуація. Тоді як усі країни світу намагаються зменшити кількість теплових електростанцій, Україна навпаки збільшує закупівлю вугілля для ТЕС. Спалюван-

ня твердого та рідкого палива супроводжується виділенням сірчистого, вуглекислого і чадного газів, а також оксидів азоту, пилу, сажі та інших забруднюваних та небезпечних речовин [1]. Сьогодні викиди від теплових електростанцій в Україні у 5–30 разів перевищують встановлені стандарти Європейського Союзу та є основним забруднювачами атмосферного повітря в країні. Тому, забезпечення сприятливих умов для проживання мешканців міст нашої держави є основною актуальною проблемою, яка потребує чіткого аналізу впливу шкідливих викидів ТЕС на навколишнє середовище та прийняття шляхів вирішення даної екологічної проблеми.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Проблематикою оксидів азоту займаються різні вчені. Й. С. Мисак досліджував спалювання палива в пилувугільних котлах зі збереженням надійності роботи обладнання, покращенням екологічних показників та зниженням шкідливих викидів в довкілля ТЕС [2]. Л.О. Кесовою для котлів ТПП-210А Трипільської ТЕС була розроблена і впроваджена система подачі пилу високої концентрації під тиском [3], що сприяє зниженню оксидів азоту. Котлер, В. Р. у дослідженні «Оксиды азота в дымовых газах котлов» [4] докладно описав процеси утворення оксидів азоту в димових газах.

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми. Науковці всього світу намагаються зменшити кількість викидів в навколишнє середовище, це можна зробити багатьма способами. Один з цих способів це вибір технологічного процесу спалювання. Проведено багато досліджень за даною тематикою, але в літературі не знайдено даних щодо порівняльного аналізу особливостей спалювання антрацитового штибу на різних установках для спалювання палива з точки зору визначення рівня викидів оксидів азоту.

Мета статті. Головною метою цієї статті є провести розрахункове дослідження рівня емісії оксидів азоту при спалюванні антрацитового штибу на різних енергетичних установках. Такими установками є: котлоагрегати з циркулюючим киплячим та нерухомим шаром, а також котельні установок з рідким та твердим шлаковидаленням.

Виклад основного матеріалу. Розглянемо детальніше вище наведені установки. Киплячий шар – це дво- або трифазна система, яка створюється приведенням до завислого стану частинок твердої фази шляхом динамічного впливу на них висхідним потоком рідини або газу (повітря). У топках з киплячим шаром підймальна сила газоповітряного потоку врівноважує вагу частинок, через що виникає псевдозрідження – інтенсивний тепломасообмін по висоті й перетину шару. У надшаровому просторі площа живого перетину більша, а, отже, швидкість газу менша (до 1,0–2,5 м/с), й більшість винесених з шару частинок падає назад у шар. Через те, що згораючі частинки, частка яких у шарі невелика, оточені інертними газами, вони не перегріваються, а середня температура шару не перевищує 950°C. У цих умовах генерація оксидів азоту невисока. Відносно низькі питома швидкість горіння вуглецю й його концентрація у шарі компенсуються відносно великою масою й висотою шару

(до 1,0–1,2 м), а глибоке випалювання більшості частинок досягається за рахунок достатньо великого часу перебування їх у топці. Киплячий шар невимогливий до якості палива: у ньому досить успішно спалюють вугілля й вуглецевмісні відходи із зольністю до 70% й відносно малозольні з вологістю до 60% [5].

Топка з нерухомим шаром – це тип спалювання палива, що бере початок від освоєння вогню стародавніми людьми у вигляді багаття. Паливо може завантажуватися вручну, через дверцята, або механічно, з бункера. Перед подачею в бункер паливу надається потрібна фракція подрібненням на дробарках, або, навпаки, формуванням паливних гранул (пелет). У топках з нерухомим шаром паливо, що вільно лежить на решітках, продувається знизу повітрям. Швидкість газоповітряного потоку у шарі така, що його підйомна сила менша ваги паливних частинок. Умовою цього є їх крупний розмір (як правило, більше 6 мм). Наявність у паливі дріб'язку, навпаки, критична: він не тільки збільшує втрати неспаленого вуглецю з винесенням, але, що важливіше, перешкоджає вільному проходженню окиснювача через шар. Через це у шарі виникають зони проскакування окиснювача і, як наслідок, зони нерівномірного горіння – заохолодження (через що виникає локальний недопал й викиди CO з димовими газами), а також зони перегріву (результат – прискорене руйнування решітки) [6].

З рідким шлаковидаленням топки бувають різних видів. Значно сприятливіші умови роботи напіввідкритої однокамерної топки з рідким шлаковидаленням. Тут зона плавлення і зона охолодження в значній мірі розділені. В камері горіння екранні труби ошиповані і покриті вогнетривкою обмазкою. Процес спалювання палива майже повністю завершується в цій камері, а її об'єм відносно обмежений, в зв'язку з чим інтенсивність тепловиділення тут складає 0,5–0,8 МВт/м³, а температура 1700–1800 °С. В камері вловлюється 20–40 % золи палива, яка видаляється в рідкому стані через льотку. В верхній частині топки розташовані відкриті екранні поверхні, які забезпечують охолодження газу і виносу.

В двокамерній топці з рідким шлаковидаленням камера горіння палива з рідким шлаком і камера охолодження розділені шлакопараторними решітками, які виконані з розведених ошипованих екранних труб, що мають вогнетривку обмазку. Основна кількість розплавленого шлаку вловлюється в камері горіння. Додатково вловлений шлак стікає на дно топки, звідки через льотку поступає у водяну ванну для грануляції. В двокамерній топці вловлюється до 70 % всієї золи [7].

Для визначення найефективнішого технологічного способу спалювання антрацитового штибу, серед розглянутих вище, необхідно розрахувати рівень емісії оксидів азоту.

Розрахунки проводилися відповідно до [8] за формулою:

$$k_{NO_x} = (k_{NO_x})_0 f_n (1 - \eta_l)(1 - \eta_{II}\beta), \text{ г/ГДж, (1)}$$

де $(k_{NO_x})_0$ – показник емісії оксидів азоту без урахування заходів скорочення викиду, г/ГДж; f_n – ступінь зменшення викиду NO_x під час робо-

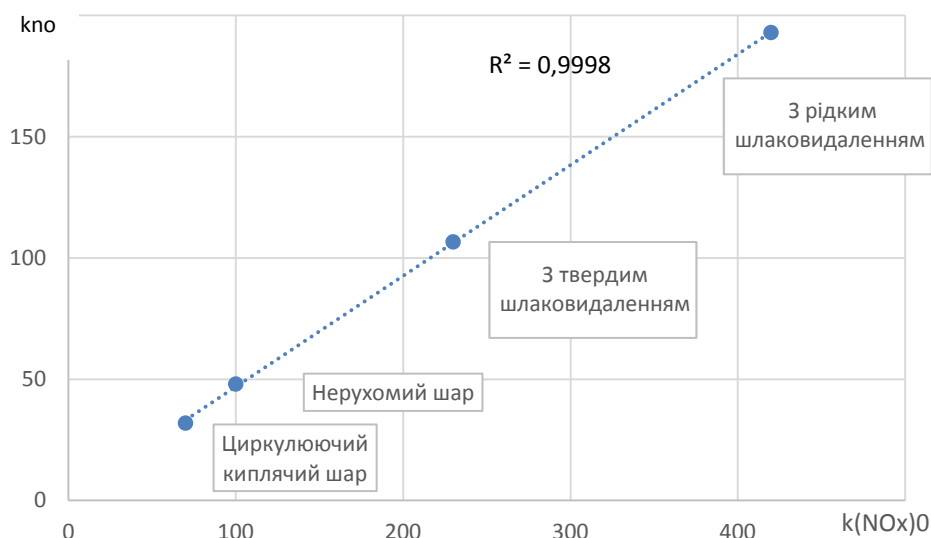


Рис. 1. Залежність емісії оксидів азоту при спалюванні вугілля в циркулюючому киплячому шарі, з рідким і твердим шлаковидаленням при факельному спалюванні і в нерухомому шарі

Джерело: авторська розробка

ти на низькому навантаженні; η_I – ефективність первинних (режимно-технологічних) заходів скорочення викиду; η_{II} – ефективність вторинних заходів (азотоочисної установки); β – коефіцієнт роботи азотоочисної установки. Згідно розрахунків отримані наступні дані, які занесені до таблиці 1

Таблиця 1

Показник емісії оксидів азоту при використанні різних технологічних способів спалювання антрацитового штибу

Установка для спалювання АШ	Показник емісії оксидів азоту, г/Гкал
З циркулюючим киплячим шаром	32
З нерухомим шаром	49
З рідким шлаковидаленням	190
З твердим шлаковидаленням	105

Джерело: авторська розробка

На рисунку 1 показано залежність емісії оксидів азоту при спалюванні вугілля в циркулюючому киплячому шарі, з рідким і твердим шлаковидаленням при факельному спалюванні і в нерухомому шарі.

З графіка видно, що найоптимальнішою устаткою з точки зору екологічності є циркулюючий киплячий шар, найгіршою – установка з рідким шлаковидаленням при факельному спалюванні.

Висновки і пропозиції. Розглянуто наступні установки для спалювання антрацитового штибу з метою зниження рівня емісії оксидів азоту: котлоагрегати з циркулюючим киплячим та нерухомим шаром, а також котельні установки з рідким шлаковидаленням та з твердим шлаковидаленням.

Проведено порівняльний аналіз рівня емісії оксидів азоту при спалюванні антрацитового штибу з використанням різних технологічних способів.

Встановлено, що найоптимальнішою установкою з точки зору екологічності є циркулюючий киплячий шар, найгіршою – установка з рідким шлаковидаленням при факельному спалюванні.

Список літератури:

1. Національний план скорочення викидів від великих енергетичних установок, від 8 листопада 2017 року № 796-р. Розпорядження, Кабінет міністрів України. Київ, 99 с.
2. Янко П.І., Мисак Й.С. Режимы эксплуатации энергетических котлов. Львів : НВФ «Українські технології», 2004. 270 с.
3. Кесова Л.О., Побіровський Ю.М.. Технологія подачі пилу з високою концентрацією як засіб покращення екологічних показників котлів, що спалюють АШ та шлами. *Енергетика: екологія, технології, екологія*. 2000. № 3. С. 45–49.
4. Котлер В.Р. Оксиды азота в дымовых газах котлов. Москва : Энергоатомиздат, 1987. 97 с.
5. Боднарченко В.И. [и др.]. Энергетика: история, настоящее и будущее. Киев, 2005. Т. 3. 304 с.
6. Майстренко А.Ю., Дудник А.Н., Топал А.И. Сравнительный анализ технико-экономических показателей работы ТЭС, использующих чистые угольные технологии. *Енергетика и електрифікація*. 2007. № 6. С. 1–3.
7. ГКД 34.02.305-2002. Викиди забруднювальних речовин у атмосферу від енергетичних установок. Методика визначення. Киев, 2002. 43 с.
8. Малярченко В.А., Варламов Г.Б., Любчик Г.Н. и др. Энергетические установки и окружающая среда. Харьков : ХГФГХ, 2002. 397 с.

References:

1. Cabinet of Ministers of Ukraine (2017). National plan to reduce emissions from large power plants. Kiev.
2. Yanko, P.I., & Misak, J.S. (2004). Modes of operation of power boilers. Lviv: SPF «Ukrainian Technologies». (in Ukrainian)
3. Kesova, L.O., & Pobirovsky, Yu.M. (2000). Tekhnolohiya podachi pyly z vysokoyu kontsentratsiyeyu yak zasib pokrashchennya ekolohichnykh pokaznykiv kotliv, shcho spalyuyut' ASH ta shlamy [High-concentration dust supply technology as a means of improving the environmental performance of boilers that burn AS and sludge]. *Energy: ecology, technologies, ecology*, no. 3, pp. 45–49.
4. Kotler, V.R. (1987). Nitrogen oxides in the flue gases of boilers. Moscow: Energoatomizdat. (in Russian)
5. Bodnarenko, V.I. [etc.] (2005). Energy: history, present and future. Volume 3: Development of thermal power and hydropower: in 4 vols. Kiev. (in Ukrainian)
6. Maystrenko, A.Yu., Dudnik, A.H., & Topal, A.I. (2007). Sravnitel'nyy analiz tekhniko-ekonomicheskikh pokazateley raboty TES, ispol'zuyushchikh chistyye ugol'nyye tekhnologii [Comparative analysis of technical and economic indicators of TPPs using clean coal technologies]. *Energy and Electrification*, no. 6, pp. 1–3.
7. GKD 34.02.305-2002 (2002). Emissions of pollutants into the atmosphere from power plants. Method of determination. Kiev. (in Ukrainian)
8. Malyarenko, B.A., Varlamov, H.B., Lyubchik, G.H. et al. (2002). Power plants and the environment. Kharkiv: KhGFGH. (in Ukrainian)