

ДОСЛІДЖЕННЯ ВИКИДУ ОКСИДІВ АЗОТУ, УТВОРЕНИХ У ПРОЦЕСІ ЗГОРЯННЯ ХВОСТОВИХ ГАЗІВ У ДВИГУНАХ ГАЗОМОТОКОМПРЕСОРІВ

М.П.Школьний, О.М.Бортняк, В.С.Павленко, І.В.Павленко

ІФНТУНГ, 76019, Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15, тел. (03422) 42196

e-mail: public@nung.edu.ua

Проведені дослідження ефективності застосування технологій енергозбереження при згорянні газоподібних вуглеводнів у двигунах газомотокомпресорів. Розглянуті процеси утворення токсичних речовин у вихлопі поршневих газоперекачувальних агрегатів та можливість зменшення величини їх викиду в навколишнє середовище.

Проведены исследования эффективности использования технологий энергосбережения при сгорании газообразных углеводородов в двигателях газомотокомпрессоров. Рассмотрены процессы образования в выхлопных газах поршневых газоперекачивающих агрегатов токсических веществ и возможность уменьшения величины их выброса в окружающую среду.

Researches of efficiency application of energy saving technologies at the process of burning the gaseous hydrocarbons in the engines of gas piston compressor are conducted. Processes of formation the toxic matters in the exhaust of these machines and possibility of decrease the concentration of harmful emissions from fuels combustion are considered.

В сучасних достатньо складних для економіки України умовах, що склалися ще при переході нашої держави до статусу незалежної, все більш гостро постають питання економії паливно-енергетичних ресурсів (ПЕР) та зменшення неодмінно пов'язаного з їх використанням техногенного навантаження на навколишнє середовище. Принциповою особливістю українського енергетичного господарства є те, що на початку воно було сформоване не як самостійна структура, а у вигляді складової частини, що не може відповідати вимогам незалежної держави. На сьогоднішній день ефективність використання енергетичних ресурсів вітчизняними підприємствами, не дивлячись на певні тенденції її зростання, що спостерігалися впродовж останніх років, все ще залишається досить низькою. Енерговитрати на одиницю валового внутрішнього продукту у порівнянні з аналогічними показниками країн Західної Європи є значно вищими. Така патологічна залежність є симптомом пов'язаним з наявністю дешевих ресурсів, часи яких для нашої держави вже давно минули. Тому економічна необхідність збереження енергоресурсів в Україні стає не лише актуальною, але й вкрай необхідною. Забезпечення в умовах дефіциту власних паливно-енергетичних ресурсів зменшення енергоспоживання шляхом енергозаощадження призведе до скорочення обсягів використання енергоносіїв і дасть можливість зекономити значну частку ПЕР, як у натуральному, так і в грошовому еквіваленті. Україна володіє значним потенціалом енергозбереження, витрати на використання якого значно менші у порівнянні з видобутком чи поставками імпортованого палива. Тому підвищення енергоефективності вітчизняної промисловості в результаті впро-

вадження енергозберігаючих технологій використання вторинних ресурсів, які, як доводить досвід країн Західної Європи є економічно та екологічно доцільними, дасть можливість значно зміцнити позиції нашої держави у напрямку виходу з енергетичної залежності.

Істотні резерви економії вуглеводневої сировини зосереджені власне у паливно-енергетичній сфері, зокрема в газотранспортній та переробній галузі. Майже кожний технологічний апарат чи промислова установка виробництва даної галузі, в рамках технологічного регламенту або для попередження аварійних ситуацій, передбачає скид газових сумішей. З метою запобігання безпосереднього надходження вуглеводнів до атмосферного повітря, попередження загазованості робочої зони і забезпечення пожежовибухобезпеки підприємствами використовуються факельні системи. Останні призначені для скидання та наступного спалювання горючих газів і парів, які не можуть бути безпосередньо використаними в тій чи іншій технології виробництва, так званих "хвостових" або залишкових газів. І хоча даний спосіб поводження зі скидами вуглеводнів дає змогу вирішити питання загазованості і значно зменшити пожежовибухонебезпеку робочої зони, однак він створює іншу проблему – забруднення атмосфери продуктами згорання. Поряд з цим втрачаються значні обсяги дорогоцінної вуглеводневої сировини. Так, тільки одним газопереробним заводом (ГПЗ) щороку у факельних установках спалюється до 3,5 тисяч тонн "хвостових" газів, а в масштабах України, враховуючи всі підприємства, де експлуатуються факельні пристрої, даний показник досягає досить великих значень. Отже, як видно, галузь володіє значним енергетичним потенціалом, реалізація якого дасть

зможу за одночасного зменшення навантаження на навколишнє середовище знизити викиди шкідливих речовин в атмосферне повітря і підвищити таким чином економічний, екологічний та енергетичний рівень нашої країни в цілому.

Одним з напрямків вирішення даного питання є застосування у нафтогазовій промисловості утилізації хвостового і супутнього природного газу, що спалюється в факелах, для вироблення електроенергії [1]. При цьому супутній і хвостовий природний газ пропонується використовувати у якості палива для газових двигунів, які перетворюватимуть теплову енергію, що утворюватиметься при згорянні газу, у механічну. Газовий двигун приводитиме в рух електрогенератор, що вироблятиме електроенергію, яку можна буде використовувати як для власного споживання, так і для продажу зовнішнім споживачам, що знаходяться поблизу. Додатково можна організувати відбір теплоти системи охолодження двигунів і їх викидних газів для теплопостачання. Даний спосіб утилізації викидного газу є досить ефективним в напрямку економії енергоносіїв та одержання прибутку від їх заощадження. Однак, при цьому недостатньо врахований екологічний фактор, оскільки в даному випадку одне джерело забруднення атмосферного повітря – факельна установка замінюється іншим – газовим двигуном, який є потенційним постачальником атмосфери вихлопними газами, основними компонентами яких є окис вуглецю та оксиди азоту.

Високу ступінь утилізації втрат газу через факел дозволить одержати і додатково притягнути у паливно-енергетичні ресурси підприємства значні обсяги сировини впровадження схеми відбору і компримування факельних газів низького тиску за допомогою насосно-ежекторних установок (НЕУ) [2, 3]. Відібраний газ може бути повернутий в технологічну лінію виробництва для одержання скрапленої пропан-бутанової суміші як екологічно чистого палива або використання на власні потреби підприємства, наприклад, в якості палива для приводу газоперекачувальних агрегатів. Компресорні цехи більшості газопереробних заводів України, деяких компресорних станцій та станцій підземного зберігання газу укомплектовані поршневыми газомотокомпресорами (ГМК) найчастіше марки 10 ГКН або МК-8. Газомотокомпресори типу 10 ГКН є стаціонарними агрегатами, які складаються з двотактного десятициліндрового газового двигуна та компресійної поршневої частини з V-подібним розміщенням циліндрів подвійної дії з'єднаних під кутом на загальній фундаментальній рамі загальним колінчатим валом. Як правило, використовуються одно або двоступеневі компресори типу 10 ГКН. Як паливо для газового двигуна, який є приводом для поршневого компресора, може бути використаний відібраний факельний газ. Впровадження в процес виробництва технології відбору і компримування залишкових газів за допомогою НЕУ і направлення їх в паливну газову систему підприємства, дасть можливість не тільки значно зекономити енергетичну сировину, а й сут-

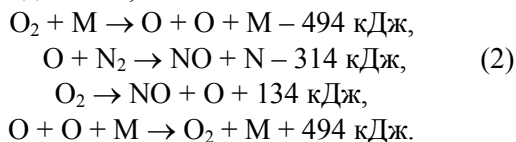
тєво зменшити негативний вплив процесів спалювання на екологічний стан довкілля. Під час згорянні газів на факельних установках досягнути суттєвого зниження викидів продуктів згоряння в атмосферу досить проблематично. Дане питання вирішувалося, як правило, удосконаленням факельних оголовків. Вплинути ж на сам процес згоряння в такому випадку виявилось практично неможливим. Використовуючи хвостові гази в якості палива для приводу поршневих компресорів, ми не тільки вивільняємо значну частину ПЕР, а й одержуємо можливість впливати на процеси згоряння, що протікають в силових циліндрах ГМК. Отже, запропонована схема створює можливість переведення нерегульованого згорання газоподібного вуглеводневого палива на факельних установках в регульоване спалення в двигунах газомотокомпресорів, ефективно знижуючи при цьому токсичність вихлопних газів даних агрегатів.

В таких двигунах компоненти подаються в робочий циліндр у вигляді суміші з повітрям. Суміш стискається поршнем і запалюється від електричної свічки. В сучасних газових двигунах великої потужності коефіцієнт надлишку повітря коливається в межах від 1,3 до 1,6. Значні коефіцієнти надлишку повітря і низька якість процесів газообміну, що спостерігаються в силових циліндрах даних компресорів, призводять до появи в продуктах згоряння окису вуглецю (CO), в такому випадку горіння газоповітряної суміші відбувається за локальних нестач повітря. Внаслідок значної концентрації кисню (O₂), а також протікання робочого процесу в циліндрах двигунів при значних температурах і тисках створюються сприятливі умови для утворення оксидів азоту, що відбувається в наступний спосіб. За високих температур і тисків посилюється дисоціація продуктів згоряння вуглеводневого газу. Дисоціюють молекули вуглекислого газу та парів води. Крім того, дисоціюють молекули кисню, які знаходяться в продуктах згорання при спалюванні сумішей з надлишковим вмістом окислювача. В результаті дисоціації збільшується концентрація так званих активних центрів – радикалів OH та атомарного кисню, які володіють підвищеною реакційною здатністю. Н.В. Лавров і Н.А. Федоров [4] вказують, що із збільшенням ступеня дисоціації і зростанням концентрації активних центрів знижується енергія активації. Швидкість хімічної реакції визначається рівнянням Арреніуса

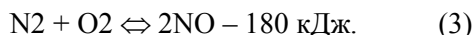
$$\omega = k_0 \exp[-E/(RT)]. \quad (1)$$

Зменшення енергії активації E і зростання абсолютної температури призводять до того, що швидкість реакції зростає і у разі досягнення граничного значення, стає рівною передекспоненційному множнику k_0 . В таких умовах, внаслідок підвищеної хімічної активності радикалів OH і атомарного кисню, починають здійснюватися нові реакції, зокрема реакції з'єднання кисню з азотом повітря. Синтез окислів азоту може при цьому відбуватися у відпо-

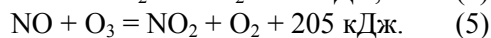
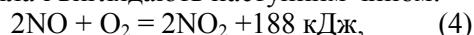
відності зі схемою, описаною академіком Я.Б. Зельдовичем, так:



Сумарна реакція утворення монооксиду азоту іде з поглинанням тепла і описується таким рівнянням:



В двотактних двигунах на початку другого такту в робочий циліндр починає надходити горюча суміш, витісняючи при цьому продукти згорання, утворені за перший такт двигуна. Монооксид азоту, реагуючи з киснем повітря, перетворюється в діоксид. Загальні реакції утворення діоксиду азоту протікають з виділенням тепла і виглядають наступним чином:



Таким чином, газомотокомпресори є потужними джерелами викиду оксидів азоту та окису вуглецю, які мають негативний вплив як на людину так і на оточуюче її середовище. Дія даних речовин на організм людини подібна. Вступаючи в реакцію з гемоглобіном, вони значно зменшують його вміст в крові. Однак за токсичністю (ГДК_{мр} NO₂=0,085 мг/м³ порівняно з 5 мг/м³ для СО) і з врахуванням активної участі у фотохімічних реакціях в атмосфері оксиди азоту не поступаються окису вуглецю. Негативний вплив оксидів азоту на здоров'я людини спостерігається у погіршенні функціональної роботи органів дихання та зору. Дана речовина подразнює слизові оболонки ока та дихальних шляхів. Оксиди азоту погано розчиняються в рідкому середовищі і здатні глибоко проникати в легені, пошкоджуючи їх. Досліди, проведені в різних регіонах, свідчать, що в місцях забруднених NO₂, у людей знижуються дихальні функції, збільшується кількість випадків респіраторних захворювань і спостерігаються зміни в крові. Наслідки отруєння діють протягом року і можуть спричинити розлад нервової системи людини. У великих концентраціях викликають загрозу життю людини. Слід також враховувати і канцерогенну дію NO₂ [5]. Тому зниження концентрації оксидів азоту у вихлопних газах газомотокомпресорів залишається досить значимим і актуальним завданням.

З метою виявлення факторів, що можуть впливати на величину вмісту токсичних компонентів у викидах, утворених в результаті згорання паливного газу у двигунах газомотокомпресорних установок, на базі Опарського підземного сховища газу, обладнаного газомотокомпресорами МК-8, був проведений комплекс інструментальних замірів кількості токсичних газів у вихлопі ГМК.

Вимірювання концентрації NO_x та СО проводилось газоаналізатором виробництва Німеччини (фірми "Testo"). Прилади цієї фірми сертифіковані Держстандартом України і внесені в держреєстр приладів України. Вимірюва-

льна система "Testo-350" є надійною і ефективною системою аналізу димових газів. Даний модульний комплекс складається з промислового зонду, блоку прободготовки testo-339, газоаналізатору testo-350 та командно-вимірювального блоку. До аналізатора можуть підключатися пробовідбірні та температурні зонди для різних умов експлуатації. Переваги газоаналізатора такого типу полягають в швидкості та великих діапазонах вимірювань, індикації параметрів аналізу, низькому рівні утворення конденсату і, як наслідок, високій точності вимірювань.

Під час роботи ГМК відпрацьовані гази з циліндрів двигуна, перед викидом в атмосферу, надходять у вихлопні колектори, після них у глушник, в камерах якого за рахунок послідовного розширення газів, відбувається зниження шуму вихлопу. Слід зазначити, що у процесі спалювання природного газу токсичність продуктів згорання на 90-95% визначає вміст оксидів азоту [5]. Тому найбільшу увагу під час проведення дослідів було приділено саме цій речовині. Заміри концентрацій NO_x та СО у відпрацьованих газах проводилися на вході (перша точка заміру) та виході (друга точка заміру) з глушника. Для дослідження було вибрано два газомотокомпресори, на одному з яких був нещодавно встановлений новий глушник (ГМК№2), на іншому – глушник з досить тривалим періодом роботи (ГМК№1). В процесі проведення замірів було виявлено, що у разі проходження вихлопних газів через глушник, в них спостерігається чітке зниження вмісту токсичних компонентів, причому у глушнику, що тривалий час знаходився в експлуатації, дане зниження було значно інтенсивнішим у порівнянні з новим. Даний факт дав змогу зробити висновок, що концентрація NO_x та СО у вихлопних газах певною мірою залежить від тривалості експлуатації глушника ГМК. З метою підтвердження такого припущення подальші дослідження велися на ГМК, обладнаному новим глушником. Заміри проводилися в 20-х числах кожного місяця протягом річного періоду експлуатації підземного сховища. Технологічним регламентом роботи ПСГ між відбором і наступним нагнітанням газу в пласт передбачений нейтральний період, на час якого (вересень-жовтень) відбувається планова зупинка обладнання. Тому у вересні заміри не проводилися. Результати вимірювань відображено у таблиці 1.

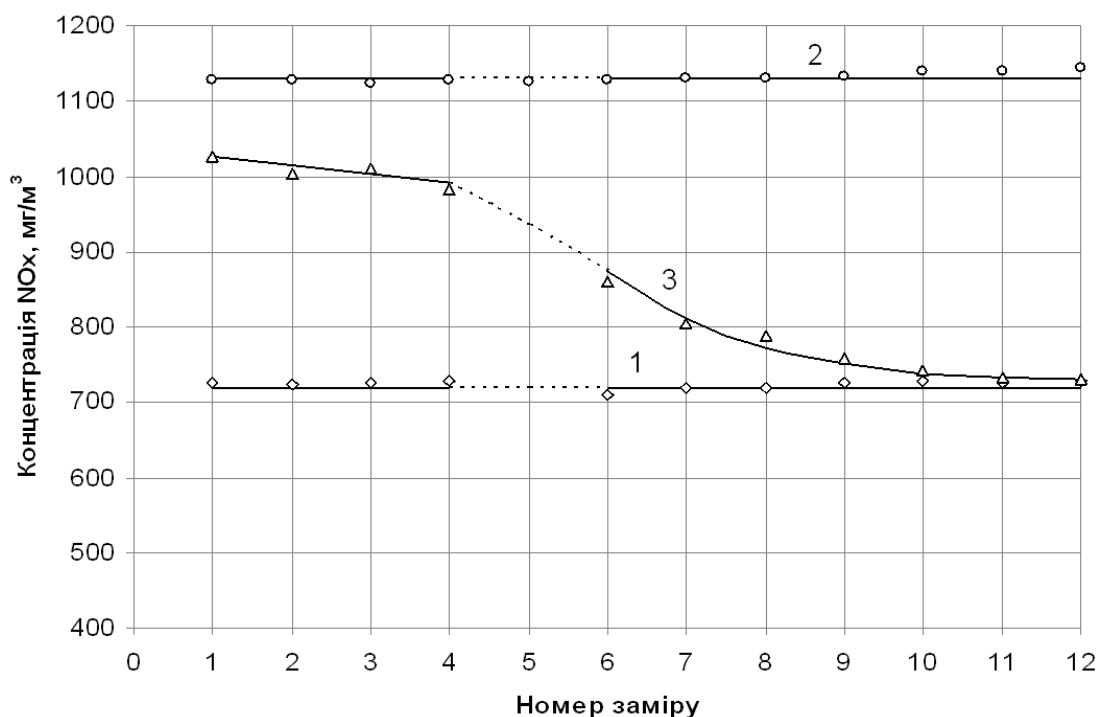
Для більш наочного зображення представимо отримані результати у вигляді графічної залежності концентрації оксидів азоту від тривалості експлуатації газомотокомпресора, нейтральний період в роботі якого позначений пунктирною лінією (рисунок 1).

Аналіз одержаних результатів дає підстави зробити такі висновки:

- 1) при проходженні відпрацьованих газів через глушник концентрація оксидів азоту в них значно знижується;
- 2) інтенсивність зниження концентрації певною мірою залежить від періоду роботи га-

Таблиця 1 – Концентрації NOx та CO у викидах, утворених при згорянні газоподібних вуглеводнів в двигунах ГМК

Номер ГПА		ГМК №1							
Номер заміру	Час заміру	Перша точка заміру				Друга точка заміру			
		NO, ppm	NO ₂ , ppm	NO _x , ppm	NO _x , мг/м ³	NO, ppm	NO ₂ , ppm	NO _x , ppm	NO _x , мг/м ³
1	травень	1451	103	1554	1133,7	929	66	995	725,9
Номер ГПА		ГМК №2							
Номер заміру	Час заміру	Перша точка заміру				Друга точка заміру			
		NO, ppm	NO ₂ , ppm	NO _x , ppm	NO _x , мг/м ³	NO, ppm	NO ₂ , ppm	NO _x , ppm	NO _x , мг/м ³
1	травень	1446	102	1548	1129,3	1314	93	1407	1026,4
2	червень	1444	102	1546	1127,8	1285	91	1376	1003,8
3	липень	1438	102	1540	1123,5	1294	91	1385	1010,4
4	серпень	1446	102	1548	1129,3	1257	89	1346	981,9
5	вересень	-	-	-	-	-	-	-	-
6	жовтень	1446	102	1548	1129,3	1101	78	1179	860,1
7	листопад	1448	102	1550	1130,8	1029	73	1102	803,9
8	грудень	1447	102	1549	1130,0	1010	71	1081	788,6
9	січень	1450	102	1552	1132,2	969	69	1038	757,2
10	лютий	1458	103	1561	1138,8	951	67	1018	742,7
11	березень	1461	103	1564	1141,0	940	66	1006	733,9
12	квітень	1465	104	1569	1144,6	935	66	1001	730,3



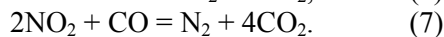
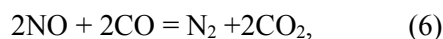
1- друга точка заміру ГМК №1; 2- перша точка заміру ГМК №2; 3 - друга точка заміру ГМК №2

Рисунок 1 – Зміна концентрації оксидів азоту у вихлопних газах ГМК залежно від періоду роботи агрегату

зоперекачувального агрегату. При чому зміна вмісту оксидів вуглецю у викиді є аналогічною.

Отже, це переконливо свідчить про те, що зниження концентрації NOx у вихлопі ГМК носить гетерогенно-каталітичний характер. Тобто, зменшення вмісту оксидів азоту можливе за рахунок їх хімічної властивості розкладатися на поверхні каталізатора в присутності відновлювача на азот та кисень. Як відновлю-

вач, у разі перебігу такого роду реакцій, можуть виступати метан, карбоксид, водень, аміак, а також оксид вуглецю [6]. Оскільки, у вихлопному газі є значна кількість CO, то саме він може бути використаним як відновник для процесу розкладання оксидів азоту, відновлення якого, у даному випадку, відбувається за такою схемою:



Тобто, відповідно до наведених реакцій, оксиди азоту розкладаються на елементарний азот та кисень, а оксид вуглецю доокислюється до діоксиду. Згідно з хімічною реакцією (6), в результаті дисоціації молекули NO, на поверхні каталізатора адсорбується кисень, який миттєво вилучається з поверхні, взаємодіючи з адсорбованою молекулою CO. Таким чином, досягається двокомпонентне зниження токсичності вихлопних газів ГМК.

Реакція взаємодії CO і NO відбувається на внутрішніх поверхнях глушника, де в процесі взаємодії металу, з якого виготовлений глушник, з киснем повітря, утворюється шар оксиду заліза (Fe_2O_3). Саме Fe_2O_3 і є каталізатором. При чому, слід зазначити, що із збільшенням часу, який пройшов з моменту виготовлення глушника, а саме тривалості взаємодії його внутрішньої поверхні з киснем повітря, зростає активність каталізатора, відповідно, швидше протікає процес відновлення оксидів азоту, а отже і інтенсивніше відбувається зниження концентрації токсичних компонентів у викиді. Це досить наглядно видно з рисунка 1 (заміри 4-6), коли ГМК не експлуатувався, оскільки був зупинений на період планового простою, і окислення внутрішніх поверхонь проходило більш інтенсивно, ніж під час роботи машини.

Перевагою застосування процесів гетерогенного каталізу є можливість суттєвого зниження токсичності вихлопних газів, не впливаючи на техніко-експлуатаційні показники агрегату. Подальше удосконалення методу застосування процесів відновлення оксидів азоту під час проходження через вихлопний тракт ГМК дасть можливість досягти безпечного вмісту токсичних компонентів у викиді відпрацьованих газів. Це суттєво знизить негативний вплив процесів згоряння газоподібних вуглеводнів на довкілля.

Таким чином, можна зробити висновок, що впровадивши схему відбору факельних газів і повернення їх в технологічну лінію виробництва для використання в якості палива газомотокомпресорних установок, дає змогу одержати значну економію не тільки від заощадження енергетичних ресурсів, а й від суттєвого зменшення технологічного навантаження на навколишнє середовище.

Література

1 Утилізація енергетичних відходів при газонафтовидобуванні : матеріали Міжнародної науково-технічної конференції [“Ресурсозберігаючі технології в нафтогазовій енергетиці”]. (Івано-Франківськ, 16-20 квітня 2007 р.) / Міністерство освіти і науки України. ІФНТУНГ. – Івано-Франківськ, 2007. – 72 с.

2 Школьний М. До питання проблем енергозберігаючих технологій та забруднення навколишнього середовища / Микола Школьний, Олена Бортняк // Нафт. і газ. пром-сть. – 2007. – № 2. – С. 53-54.

3 Бортняк О.М. Утилізація факельних газів як спосіб енергозбереження в газопереробній галузі / О.М. Бортняк // Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. – 2007. – №2(23). – С. 34-38.

4 Лавров Н.В., Федоров Н. А. Некоторые особенности высокотемпературного горения газа / Н. Лавров, Н. Федоров // Газ пром-сть – 1973. – № 8. – С. 35-38.

5 Сигал И.Я. Защита воздушного бассейна при сжигании топлива / Сигал И.Я. – Л.: Недра, 1988. – 312 с.

6 Торочешников Н.С. Техника защиты окружающей среды / Торочешников Н.С. – М.: Химия, 1981. – 368 с.

*Стаття постуила в редакційну колегію
11.02.09*

*Рекомендована до друку професором
Семчуком Я.М.*