

ЕКОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ ЕНЕРГЕТИКИ ТА ЗАХИСТ ДОВКІЛЛЯ

УДК 621.644:502.3

І.Ч. ЛЕЩЕНКО, канд. техн. наук
Інститут загальної енергетики НАН України, м. Київ

ВПРОВАДЖЕННЯ СУЧАСНИХ ТЕХНОЛОГІЙ У ГАЗОТРАНСПОРТНІЙ СИСТЕМІ УКРАЇНИ ДЛЯ ЗМЕНШЕННЯ ВИКИДІВ ШКІДЛИВИХ РЕЧОВИН В АТМОСФЕРУ

Розглянуто сучасні технології, застосування яких при транспортуванні природного газу дає можливість знизити викиди парникових газів і шкідливих речовин в атмосферу. Виконано оцінку впливу на вартість магістрального транспортування природного газу впровадження сучасних технологій при різних рівнях платежів за викиди шкідливих речовин в атмосферу, визначено динаміку змін обсягів викидів парникових газів від об'єктів газової промисловості при різних темпах проведення заміни застарілого компресорного обладнання.

Ключові слова: газотранспортна система, парникові гази, зниження викидів в атмосферу, платежів за викиди шкідливих речовин

Об'єкти газового комплексу істотно впливають на всі компоненти природного середовища на кожній стадії життєвого циклу, а характер екологічних впливів, їхні форми та інтенсивність змінюються відповідно до основних етапів функціонування цих об'єктів. Екологічний вплив на повітряний басейн проявляється у вигляді летючих викидів, які охоплюють всю газову інфраструктуру. Майже 95 % викидів становлять газоподібні речовини, основними з яких є діоксид вуглецю CO_2 , метан CH_4 , закис азоту N_2O , оксиди азоту NO_x , оксид вуглецю CO , неметанові леткі органічні сполуки (НМЛОС).

Незважаючи на значні переваги транспортування природного газу трубопроводами у порівнянні з іншими видами транспорту, уникнути забруднення атмосфери неможливо. На навколишнє середовище тим чи іншим чином впливають такі об'єкти газотранспортної системи (ГТС), як компресорні та газорозподільчі станції, лінійна частина газопроводів, установки комплексної підготовки газу, підземні сховища газу, адже специфіка їхньої роботи часто пов'язана з технологічними витокami природного газу в атмосферу. Згідно з класифікацією Міжнародної групи експертів ООН з питань зміни клімату (МГЕЗК) за джерелом походження

летючі забруднювачі від об'єктів газової промисловості можна розділити на дві групи: викиди від спалювання природного газу в камерах згоряння газотурбінних приводів газоперекачувальних агрегатів (ГПА) компресорних станцій (КС) магістральних газопроводів і підземних сховищ газу та супутні летючі викиди.

Під час роботи газових турбін ГПА у повітря викидається велика кількість парникових газів, основними з яких є діоксид вуглецю CO_2 і закис азоту N_2O . Також у процесі спалювання природного газу азот, що міститься у повітрі, перетворюється на окис NO та двоокис азоту NO_2 , які разом часто називають NO_x . Ці сполуки пов'язують з утворенням кислотних дощів і фотохімічних смогів, а також з виснаженням озонового шару Землі.

Основним супутнім летючим викидом від діяльності об'єктів ГТС є метан CH_4 , який міститься у природному газі. Витоки метану на магістральних газопроводах виникають унаслідок особливостей технології транспортування природного газу, а саме високого тиску, значних діаметрів, великої протяжності мережі газопроводів, а також великої кількості запірної і регулюючої арматури, насиченості технологічними обов'язками. Потенційними джерелами витоків при цьому є зварювальні шви трубопроводів і устаткування; фланці та штоки арматури. Певним чином впливає також нена-

© І.Ч. ЛЕЩЕНКО, 2010

лежна герметичність комунікацій і апаратів технологічних обв'язок. Очевидно, що обсяги витоків метану в процесі транспортування залежать від протяжності мережі газопроводів, "запасу газу" в трубах, кількості компресорних станцій, їхньої потужності, технологічного оснащення та технічного стану обладнання. Наприклад, на КС середньостатистичні витокі метану мають таку структуру: крани – 7,1 %; штоки – 32,2 %; фланцеві з'єднання – 15,1 %; різьбові з'єднання – 5,3 %; інші елементи – 0,2 %.

Також джерелами супутніх викидів ГТС є технологічні витокі від дроселювання, вентиляції та стравлювання газу, які включають всі проектні або спеціальні викиди в атмосферу потоків природного газу і побічних продуктів технологічних процесів. На магістральних трубопроводах викиди утворюються при спорожненні ділянок газопроводів під час підготовки до проведення ремонтних робіт на лінійній частині, при введенні в експлуатацію, знятті з експлуатації і поточному ремонті газоперекачувальних агрегатів тощо. Обсяги викидів метану при проведенні ремонтів газопроводів та компресорного обладнання у першу чергу залежать від кількості ремонтних робіт. На даний час значна частина газопроводів країни в основному вичерпала свій експлуатаційний ресурс, що призводить до збільшення кількості ремонтів і, відповідно, до збільшення обсягів стравлювання природного газу. Джерелом викидів є також використання стисненого природного газу в пневматичних пристроях (моторах стартерів компресорних двигунів, приладах контурів керування тощо).

Незважаючи на те, що більшість джерел летючих викидів є проектними або очікуваними (наприклад, витокі кранів і технологічних клапанів, викиди газотурбінних ГПА), кількість і склад цих викидів у цілому істотно не визначені. Причина цього полягає у відсутності на виробництві надійних систем вимірювання, які б могли охопити широкий діапазон виникаючих потоків викидів і змін у їхньому складі. Навіть у випадках, коли викиди є складовою частиною технологічного процесу, існують невідповідності в показниках, що базуються на інженерних оцінках та вимірюваннях. Часто викиди летючих речовин мають декілька джерел, особливо при витоках газу через затвори компресорів, клапани і фланці. Це значною мірою пояснює той факт, що в Україні досі не розроблено єдиної методики визначення летючих викидів від об'єктів систем трубопроводного транспортування газу і не існує національних коефіцієнтів викидів ПГ, які необхідні для розрахунків обсягів викидів ПГ при складанні Національного кадастру антропогенних викидів і поглинань парникових газів.

Для газової промисловості країни у 2009 році виконано оцінку викидів двох парникових газів (двоокису вуглецю CO_2 та метану CH_4), частка яких у загальних викидах ПГ від галузі є найбільшою. Розрахунки виконано за методикою МГЕЗК для Рівня 1 з коефіцієнтами емісії, які є середніми значеннями з діапазону, що рекомендуються МГЕЗК для пострадянських країн. У табл. 1 наведено результати розрахунків, де враховано супутні летючі викиди та

Таблиця 1

Вид діяльності з природним газом	Летючі викиди (тис. т)			Частка у загальних викидах ПГ (%)
	CO_2	CH_4	CO_2 -екв	
Видобування та підготовка	2,01	58,30	1226,31	2,1
Транспортування, у тому числі:	9268,56	1572,11	42 282,80	74,0
• супутні викиди	—	1572,11	33 014,24	57,8
• спалювання газу газотурбінними ГПА	9268,56	0,00	9268,56	16,2
Розподіл	—	305,60	6417,69	11,3
Споживання, у тому числі:	—	341,30	7167,27	12,5
• промислові підприємства та електростанції	—	209,75	4404,84	7,7
• населення та інші непромислові споживачі	—	131,54	2762,44	4,8
Факельне спалювання	38,16	0,23	43,06	0,1
Разом викиди ПГ	9308,73	2277,54	57 137,13	100,0

викиди від спалювання природного газу в якості палива в ГПА з газотурбінними приводами.

Розрахунки показали, що викиди від транспортування природного газу є найсуттєвішою складовою в емісії ПГ від діяльності газової промисловості – 74 %. З них викиди від спалювання природного газу газотурбінними приводами ГПА компресорних станцій газопроводів і підземних сховищ газу становлять близько 16 % від загальних викидів галузі або 22 % – від діяльності з транспортування газу. Супутні летючі викиди при транспортуванні складають 57,8 % викидів від діяльності газової промисловості або 78 % – від діяльності з транспортування газу. Отже, впровадження на газотранспортних підприємствах сучасних технологій, які дають можливість знизити викиди шкідливих речовин у повітря, є надзвичайно актуальним завданням.

Серед основних напрямів зниження викидів парникових газів при транспортуванні природного газу можна виокремити такі.

Заміна лінійних кранів та кранів обв'язки КС, постійний контроль за їхньою герметичністю.

Підвищення ККД приводів газоперекачувальних агрегатів КС. Сьогодні, за даними ДК “Укртрансгаз”, середній паспортний ККД парку газотурбінних агрегатів складає 27 %. З урахуванням значного середнього віку агрегатів та їхнього напрацьованого ресурсу експерти галузі оцінюють дійсний середньозважений ККД агрегатів на рівні не більше 25 % [3]. Багаторічний досвід проведення інструментальних обстежень газотранспортного устаткування ВАТ “Газпром”, де експлуатується аналогічне компресорне обладнання, показав, що завдяки підвищенню ККД ГПА на 1 % витрати паливного газу в цілому по ВАТ “Газпром” знизяться на 1,4 млрд м³ на рік, що еквівалентно зменшенню викидів в атмосферу парникового газу CO₂ у кількості 2,76 млн т на рік [7]. Отже, суттєвий вплив на скорочення викидів справляє заміна застарілого газоперекачувального обладнання на сучасні агрегати (які виробляють, зокрема, вітчизняні підприємства: Сумське машинобудівне НВО ім. Фрунзе, ВАТ “Мотор-Січ” (Запоріжжя), ДП Науково-виробничий комплекс газотурбобудування “Зоря-Машпроект” (Миколаїв)), що дозволить підвищити ККД на 8–11 % та отримати економію до 25 % паливного газу. Це, у свою чергу, дасть можливість зменшити викиди парникових газів в атмосферу.

Оптимізація потоків газу, що транспортується, та забезпечення роботи компресорного обладнання на оптимальних режимах. Однією з причин зниження ККД газоперекачувальних агрегатів крім незадовільного технічного стану є робота на режимах, що відрізняються від номінального. Як показали дослідження, проведені в Інституті загальної енергетики НАН України [4], за рахунок оптимізації потоків газу економія може становити 2–3 % від обсягу спожитого на КС паливного газу.

Впровадження системи модернізації і ремонту газотурбінних газоперекачувальних агрегатів за технічним станом. Це дозволить своєчасно виявляти дефекти ГПА і виводити їх з експлуатації, завдяки чому викиди ПГ зменшаться. Так, за даними російських фахівців, для зменшення викидів при транспортуванні природного газу найефективнішими є заходи з оптимізації режимів експлуатації ГПА і спрацювання газу з ділянок газопроводів, що відключаються, перед проведенням ремонтних робіт, які в сумі дають 71 % загального досягнутого ефекту із зниження викидів ПГ у ВАТ “Газпром” [7].

Скорочення емісії метану при відключеннях ГПА. У загальноприйнятій практиці при відключенні газоперекачувального агрегата на КС проводиться “продування” його компресора, з якого викидається залишковий газ під високим тиском. Кількість продувань компресора у виробничих цілях залежить від експлуатаційних режимів. Так, компресори, що працюють у режимі базових навантажень, тобто перебувають у робочому стані основну частину часу, зазвичай продуваються тричі на рік. У середньому одне продування призводить до викиду в атмосферу близько 400 м³ природного газу. Для зниження витоків метану при відключенні компресорів пропонується приєднати лінії продувки до системи подачі паливного газу, що дозволить використовувати в якості палива газ, який зазвичай скидається в атмосферу [5].

Скорочення емісії метану при включеннях ГПА за рахунок модернізації системи їхнього запуску. На даний час у газотранспортних підприємствах України експлуатуються ГПА з пневматичною системою запуску газотурбінного приводу, в якій стартером є пускова турбіна, що використовує як робоче тіло природний газ. Величина витрат газу на один запуск становить приблизно 500 м³. При цьому спрацьований у

пусковій турбіні газ викидається в атмосферу, безповоротно втрачається і погіршує екологічну обстановку. На даний час розроблені, виготовлені й випробувані на КС сучасні системи запуску ГПА, в яких використовується регульований електропривод змінного струму, що забезпечує надійність пуску і зменшує викиди метану в атмосферу.

Переобладнання газових пневматичних систем керування для використання технологічного повітря. Пневматичні пристрої забезпечують функціонування запірних клапанів та регулюють потік і тиск газу на КС і в трубопроводах при транспортуванні газу; вони також використовуються при роботі лічильників транспортних і газорозподільних систем. Пневматичні пристрої є одним із основних джерел викидів метану в газовій промисловості. Фактична швидкість витoku значною мірою залежить від конструкції пристрою, тиску газу, що транспортується, частоти використання, терміну експлуатації та стану устаткування. Фахівці галузі [5] вважають, що в пневматичних системах економічно вигідно замінити природний газ на стиснене повітря, що виключає емісію метану. Первинні витрати на таке переобладнання включають витрати на установку компресора і відповідного устаткування та експлуатаційні витрати на електропостачання двигуна компресора. При цьому економічні й екологічні переваги складаються з економії коштів за рахунок скорочення витоків газу. При цінах на газ 250 дол. США/тис. м³ річна економія від зниження витоків для одного пристрою може скласти до 800 дол. США. У більшості випадків витрати на переоснащення для використання технологічного повітря можуть окупитися менш ніж за рік.

Застосування технології “гарячого врізання” (врізання під тиском), що дозволяє будувати відводи на газопроводі під тиском без викиду газу в атмосферу. Технологія дозволяє монтувати відводи, внутрішньотрубні пристрої, постійні та тимчасові байпаси, а також готувати трубопровід до ремонту без зупинки транспортування газу і його втрат. Існує устаткування для гарячого врізання для всіх розмірів труб, матеріалів, рівнів тисків, які застосовуються у транспортних і розподільних системах. Основні економічні й екологічні вигоди застосування гарячого врізання замість врізання з перекриттям полягають у забезпеченні безпе-

рвної роботи системи та відсутності викидів природного газу в атмосферу.

Заміна масляних ущільнювачів відцентрових компресорів на сухі. Викиди метану через вологі ущільнювачі становлять від 1,13 до 5,60 м³/хв [5, 6], більша частина з них припадає на операцію із звільнення циркулюючого масла від газу, абсорбованого під високим тиском на поверхні ущільнювачів. Сухі ущільнювачі, що використовують газ високого тиску для герметизації компресорів, пропускають менше метану, мають нижчий рівень енергоспоживання, поліпшують ефективність експлуатації компресорів і вимагають значно меншого обсягу технічного обслуговування. Заміна звичайних ущільнювачів на здвоєні сухі може забезпечити скорочення викидів метану на 0,9–5,4 м³/хв, що еквівалентно об’єму 462–2637 тис. м³ за 8000 годин річної експлуатації [5]. У практиці магістрального транспорту газу, як правило, не передбачається заміна лише ущільнювачів, замінюється весь старий відцентровий компресор на новий сучасний із сухими ущільненнями. Компресори таких типів випускають українські підприємства.

Окремо необхідно виділити такий захід, як заміна газотурбінних приводів ГПА компресорних станцій на електричні, але ця проблема не має однозначного рішення для всіх КС країни. Доцільність заміни газотурбінного приводу на електричний залежить від співвідношення цін на природний газ і електроенергію, конкретних умов кожної КС – наявності поблизу станції джерела електроенергії, можливості побудови лінії електропередачі або автономного джерела електроенергії (наприклад, парогазової установки), що вимагає проведення окремого дослідження.

З наведених технологій зменшення екологічного впливу об’єктів транспортування газу на атмосферне повітря було розглянуто впровадження сучасних газоперекачувальних агрегатів. Розрахунки проведені для магістрального газопроводу “Союз”, на компресорних станціях якого встановлено старі ГПА з газотурбінним приводом типу ГТК-10І, для чого були проаналізовані такі варіанти.

1. Базовий варіант – робота до 2030 року на існуючому обладнанні, яке періодично проходить капітальний ремонт.

2. Варіант, при якому виконується заміна старих ГПА на сучасні з ККД 36 %, “сухим”

компресором та системою електричного запуску за умови збереження встановленої потужності на кожній КС.

Досліджено зміну вартості транспортування природного газу для цих варіантів при різних прогнозних цінах на природний газ (табл. 2) і платежах за викиди парникових газів (діоксиду вуглецю, метану, закису азоту) у перерахунку до CO₂-еквіваленту та інших забруднювачів у повітря (табл. 3).

При розрахунках приймалося, що вартість послуг з транспортування газу складається з вартості прокачування та платежів за викиди. Дані про обсяги викидів ПГ та інших забруднювачів у повітря для ГПА старих типів взято з “Каталога удельных выбросов вредных

веществ газотурбинных газоперекачивающих агрегатов” [8].

Аналіз отриманих результатів показав, що у разі подальшого використання неефективного застарілого обладнання у 2030 році платежі за викиди в атмосферу ПГ та інших шкідливих речовин становитимуть у вартості послуг з транспортування газу 6,3 % для вірогідних та 18,2 % – для максимальних прогнозованих значень платежів (табл. 4).

Було також зроблено прогноз викидів ПГ від газової галузі до 2030 року при різних темпах модернізації компресорного обладнання ГТС країни. Розрахунок викидів ПГ виконувався згідно з рекомендаціями МГЕЗК [1, 2]. Дані щодо прогнозних обсягів видобування,

Таблиця 2

Значення	Прогноз цін на природний газ по роках (дол. США за 1000 м ³)			
	2015	2020	2025	2030
Мінімальне	275	300	350	400
Вірогідне	320	340	400	475
Максимальне	450	500	600	700

Таблиця 3

Значення	Прогноз платежів за викиди забруднювачів у повітря по роках (дол. США за т)				
	2011	2015	2020	2025	2030
парникові гази					
Мінімальне	0	0,25	0,5	1	1,5
Вірогідне	0	2,5	5	10	15
Максимальне	1	13	25	38	50
оксиди азоту					
Мінімальне	10	22	35	48	60
Вірогідне	10	45	60	65	80
Максимальне	10	60	105	150	200
оксид вуглецю					
Мінімальне	0,375	2	4	6	8
Вірогідне	0,375	5	10	15	20
Максимальне	0,375	9	18	26	35
НМЛОС					
Мінімальне	0,56	0,7	0,8	0,9	1
Вірогідне	0,56	1	1,8	2,4	3
Максимальне	0,56	1,7	3	4	5

Таблиця 4

Тип ГПА	Частка платежів за викиди в повітря у ціні на послуги транспортування природного газу по роках (%)				
	2011	2015	2020	2025	2030
Вірогідний рівень платежів					
ГПА старих типів	0,5	2,3	4,0	5,3	6,3
ГПА нових типів	0,4	1,6	3,0	4,1	5,0
Мінімальний рівень платежів					
ГПА старих типів	0,1	0,2	0,3	0,5	0,6
ГПА нових типів	0,1	0,3	0,5	0,6	0,7
Максимальний рівень платежів					
ГПА старих типів	2,3	7,6	12,2	15,6	18,2
ГПА нових типів	1,7	5,7	9,5	12,5	14,9

транспортування та споживання природного газу взято з Енергетичної стратегії України на період до 2030 року [9]. Було розглянуто три сценарії проведення модернізації ГТС країни шляхом заміни газотурбінних ГПА на агрегати із сучасними газотурбінними приводами і "сухими" відцентровими компресорами, обладнаними сучасною системою запуску. Оптимістичний сценарій передбачав, що у 2011 році буде виконано заміну 25 % старих ГПА, до 2015

року – проведено повну модернізацію газотурбінних газоперекачувальних агрегатів. Відповідно до вірогідного сценарію у 2011 році передбачалась заміна 15 % старих ГПА, у 2015-му – 50 %, 2020-му – 75 % і в 2030 році – 100 %. Песимістичний сценарій передбачав, що у 2015 році буде проведено заміну 5 % старих ГПА, 2020-му – 10 %, 2030-му – 30 % парку газотурбінних ГПА. Визначити скорочення викидів метану внаслідок проведення таких

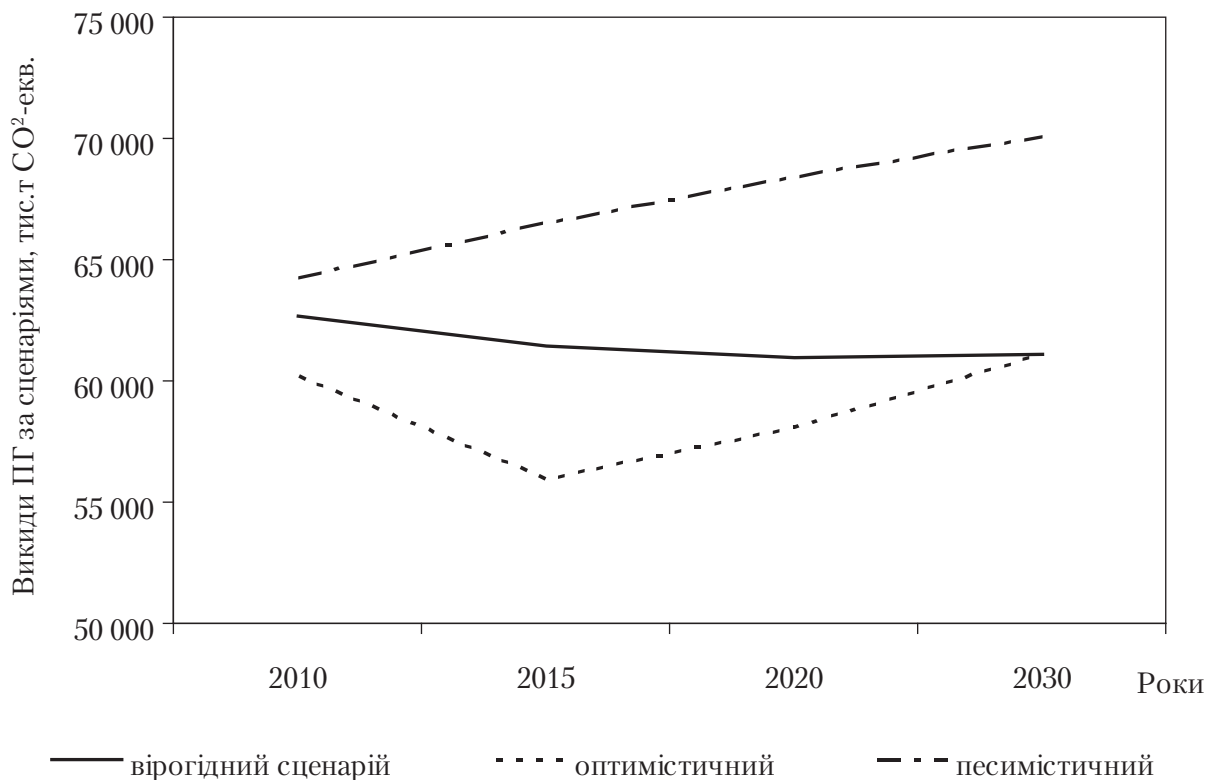


Рис. 1

заходів, як заміна лінійних кранів та кранів обов'язки КС, переобладнання газових пневматичних систем керування на використання технологічного повітря, застосування технології "гарячого врізання", не маючи докладної інформації про кількість і типи цього обладнання, неможливо.

Динаміку змін обсягів викидів парникових газів (CO₂ та CH₄) від газової промисловості при різних темпах проведення заміни застарілих газоперекачувальних агрегатів наведено на рис. 1.

Результати розрахунків показали, що повне оновлення компресорного обладнання ГТС країни дозволить досягти у 2030 році зниження викидів парникових газів на 26 % порівняно із песимістичним сценарієм, за яким це оновлення буде проводитися низькими темпами, що дорівнює близько 9 млн т CO₂-еквівалента.

ВИСНОВКИ

Збереження існуючого рівня технічного стану й структури парку ГПА не тільки може призвести до кризи газотранспортної системи країни, але є джерелом значних обсягів викидів парникових газів і шкідливих речовин в атмосферу. Водночас українська ГТС має суттєвий потенціал скорочення екологічного впливу на повітряний басейн.

До найефективніших напрямів зниження летючих викидів при транспортуванні природного газу можна віднести оновлення компресорного обладнання ГТС шляхом заміни газотурбінних ГПА на сучасні, які мають привод з ККД не нижче 36 %, "сухий" компресор та модернізовану систему запуску; приєднання ліній продувки компресорів ГПА до системи подачі паливного газу для використання в якості палива технологічного газу, який зазвичай скидається в атмосферу; заміну лінійних кранів та кранів обов'язки КС; впровадження комп'ютерних систем оперативної діагностики ГПА та керування режимами роботи ГТС з урахуванням поточного технічного стану компресорного обладнання. Реалізація цих заходів дозволить суттєво знизити негативний вплив на довкілля при транспортуванні природного газу.

1. *Руководящие* указания по эффективной практике и учету факторов неопределенности в национальных кадастрах парниковых газов. – Режим доступа: http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gp/russian/gpgaum_ru.html.
2. *Руководящие* принципы национальных инвентаризаций парниковых газов. МГЭИК, 2006 – Режим доступа: <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/russian/index.html>.
3. *Стан* і перспективи розвитку нафтогазового комплексу України: [ред. Івченка О. Г.]. – К.: Наукова думка, 2006. – 310 с.
4. *Лещенко І. Ч.* Програмно-інформаційний комплекс управління функціонуванням компресорних станцій магістральних газопроводів для зменшення витрат паливного газу / І. Ч. Лещенко // Проблеми нафтогазової промисловості. – 2009. – Вип. 7. – С. 195–205.
5. *Natural Gas STAR Program.* Рекомендованные технологии и практические мероприятия. – Режим доступа: <http://www.epa.gov/gasstar/tools/russian/index.html>.
6. *Степовиков С. Н.* Принцип действия, технологические стандарты и требования к проектированию и эксплуатации систем сухих газовых уплотнений // Нефтегазовое дело. – 2005. – Режим доступа: <http://www.ogbus.ru>.
7. *Смородова О.* Исследование выбросов парниковых газов на газотранспортных предприятиях / О. Смородова, С. Китаев, Е. Колоколова // Энергоаудит. – 2008. – № 3 (7). – Режим доступа: <http://www/j-e-a.ru/wp-content/uploads/2009/01/37-20-23.pdf/>.
8. *СТО Газпром 2-3.5-03902005* Каталог удельных выбросов вредных веществ газотурбинных газоперекачивающих агрегатов. – Режим доступа: http://www.complexdoc.ru/ntdpdf/540976/katalog_udelnykh_vybrosov_vrednykh_veshchestv_gazoturbinykh_gazoperekachiv.pdf.
9. *Розпорядження* КМ України від 15 березня 2006 р. № 145-р "Про схвалення Енергетичної стратегії України на період до 2030 року". Сторінка "Законодавство України" сайту Верховної Ради. – Режим доступа: <http://zakon1.rada.gov.ua/cgi-bin/laws/main.cgi?nreg=145-2006-%F0&chk=4/UMfPEGznhhUF8.ZiePnC3XHdlFosFggkRbI1c>.

Надійшла до редколегії: 08.09.2010