

ЕФЕКТИВНІСТЬ ТЕХНОЛОГІЙ УЛОВЛЮВАННЯ ТА УТИЛІЗАЦІЇ ЗАБРУДНЮЮЧИХ РЕЧОВИН

Грицуляк Г. М., Качала С. В.,
Волошин Ю. Д., Лопушняк В. І.,
Фомічова О. В.

Івано-Франківський національний
технічний університет нафти і газу

Стаття присвячена вирішенню актуальної екологічної проблеми нафтогазового комплексу – зменшенню техногенного навантаження на атмосферне повітря, що виникає внаслідок експлуатації газоперекачувального обладнання та спалювання природного газу. Основна увага зосереджена на комплексному очищенні викидів від твердих частинок, діоксиду сірки (SO₂), оксидів азоту (NO_x) та оксиду вуглецю (CO).

У роботі представлено результати експериментальної перевірки ефективності комбінованої системи газоочистки, яка поєднує механічні та фізико-хімічні методи: циклонний пиловловлювач, рукавний фільтр та абсорбційну колону з водно-лужним розчином. Дослідження підтвердили, що запропонована технологічна схема дозволяє досягти синергетичного ефекту та забезпечити високий ступінь очищення: ефективність уловлювання пилу складала 95,2%, діоксиду сірки –

83,3%, оксиду вуглецю – 77,8%. Концентрації зазначених речовин після очищення не перевищують гранично допустимих норм (ГДК).

Водночас встановлено, що для діоксиду азоту (NO₂), попри зниження концентрації на 79,2%, спостерігається залишкове незначне перевищення нормативних значень, що зумовлено низькою розчинністю оксидів азоту. Автори доходять висновку про доцільність впровадження розробленої системи на компресорних станціях та газопереробних підприємствах, а також окреслюють перспективи подальших досліджень, які полягають в інтеграції методів селективного каталітичного або некаталітичного відновлення (SCR/SNCR) для підвищення глибини очищення від NO_x.

Ключові слова: система очищення, екологічна безпека, технології захисту навколишнього середовища, забруднюючі речовини.

EFFICIENCY OF POLLUTANTS CAPTURE AND DISPOSAL TECHNOLOGIES

**Hrytsulyak G. M., Kachala S. V.,
Voloshyn Y. D., Lopushniak V. I.,
Fomichova O. V.**

Ivano-Frankivsk National
Technical University of Oil and Gas

The article is devoted to the solution of the urgent environmental problem of the oil and gas complex – the reduction of man-made load on the atmospheric air, which arises as a result of the operation of gas pumping equipment and the burning of natural gas. The main focus is on the comprehensive purification of emissions from solid particles, sulfur dioxide (SO₂), nitrogen oxides (NO_x) and carbon monoxide (CO).

The paper presents the results of the experimental verification of the efficiency of the combined gas treatment system, which combines mechanical and physico-chemical methods: a cyclone dust collector, a bag filter and an absorption column with a water-alkaline solution. Studies have confirmed that the proposed technological scheme allows achieving a synergistic effect and ensuring a high degree of purification: the efficiency of dust capture was 95.2%, sulfur dioxide – 83.3%, and carbon monoxide – 77.8%. The concentrations of the specified substances after cleaning do not exceed the maximum permissible standards (MPC).

At the same time, it was established that for nitrogen dioxide (NO₂), despite a decrease in concentration by 79.2%, a residual slight excess of the normative values is observed, which is due to the low solubility of nitrogen oxides. The authors conclude on the feasibility of implementing the developed system at compressor stations and gas processing enterprises, as well as outline the prospects for further research, which consists in the integration of selective catalytic or non-catalytic reduction (SCR/SNCR) methods to increase the depth of NO_x purification.

Keywords: cleaning system, environmental safety, environmental protection technologies, pollutants

Постановка проблеми

Питання зменшення техногенного навантаження на атмосферне повітря є критично важливим для підприємств нафтогазового комплексу. Наукові дослідження свідчать, що експлуатація газоперекачувального обладнання та процеси спалювання природного газу супроводжуються утворенням значних обсягів викидів, серед яких домінують тверді частинки, діоксид сірки (SO₂), оксиди азоту (NO_x) та оксид вуглецю (CO).

Незважаючи на значний теоретичний доробок, на практиці часто відсутні універсальні рішення, які б гарантували одночасне зниження концентрацій SO₂, NO_x, CO та пилу до нормативних значень в умовах одного технологічного ланцюга. Комплексний підхід, який би моделював повний цикл очищення викидів компресорної станції – від грубого пилу до газових домішок – у науковій літературі висвітлений недостатньо.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Питання зменшення техногенного навантаження на атмосферне повітря є критично важливим для підприємств нафтогазового комплексу. Наукові дослідження останніх років свідчать, що експлуатація газоперекачувального обладнання та процеси спалювання природного газу супро-

воджуються утворенням значних обсягів викидів, серед яких домінують тверді частинки, діоксид сірки (SO_2), оксиди азоту (NO_x) та оксид вуглецю (CO). Аналіз фахової літератури дозволяє виділити основні напрямки вдосконалення систем газоочистки, які є релевантними для даного дослідження [1, 6]. У сучасних наукових працях широко обговорюється ефективність інерційних методів пиловловлення. Традиційно на компресорних станціях застосовують циклонні апарати, які характеризуються простотою конструкції та надійністю в експлуатації. Однак, дослідники зазначають, що ефективність циклонів різко знижується при вловлюванні дрібнодисперсних фракцій (менше 5–10 мкм). Для досягнення санітарних норм науковці пропонують використовувати двоступеневі схеми, де другим ступенем виступають рукавні фільтри. Вони забезпечують високий ступінь очищення, що корелює з даними про необхідність зниження концентрацій пилу до значень, нижчих за ГДК [3, 5].

Зниження викидів токсичних газів (SO_2 , NO_x , CO) є складнішим завданням, ніж знепилення. В літературі розглядаються каталітичні, термічні та абсорбційні методи.

Більшість авторів сходиться на думці, що хемосорбція з використанням лужних розчинів є найбільш доцільним методом для видалення оксидів сірки. Це підтверджує вибір водно-лужних розчинів в абсорбційних колонах як ефективного засобу боротьби з кислими газами [2, 6].

Проблема очищення від NO_x залишається однією з найактуальніших. Дослідження показують, що абсорбційні методи мають обмежену ефективність щодо оксидів азоту через їх низьку розчинність. Це пояснює, чому в багатьох експериментальних роботах, навіть після очищення, спостерігається залишкове перевищення ГДК по цьому показнику, що вимагає розгляду додаткових технологій, таких як селективне каталітичне відновлення (SCR) [3, 7].

Окремим і найбільш перспективним напрямком є створення інтегрованих (гібридних) установок. Існуючі публікації вказують на те, що послідовне поєднання механічного очищення та фізико-хімічної абсорбції дозволяє досягти синергетичного ефекту. Проте, більшість досліджень фокусується або лише на пиловловлюванні, або лише на нейтралізації газів. Комплексний підхід,

який би моделював повний цикл очищення викидів компресорної станції – від грубого пилу до газових домішок – висвітлений недостатньо [4, 6].

Виділення невирішеної частини загальної проблеми. Незважаючи на значний теоретичний доробок, на практиці часто відсутні універсальні рішення, які б гарантували одночасне зниження концентрацій SO_2 , NO_x , CO та пилу до нормативних значень в умовах одного технологічного ланцюга. Це обумовлює необхідність експериментальної перевірки ефективності саме комбінованої системи (циклонний пиловловлювач, рукавний фільтр, абсорбційна колона), що і є завданням даної роботи.

Визначення цілей статті (постановка завдання)

Метою статті є експериментальна перевірка ефективності комбінованої системи газоочистки, яка включає циклонний пиловловлювач, рукавний фільтр та абсорбційну колону. Постановка такого завдання обумовлена тим, що на практиці часто відсутні універсальні рішення, які б гарантували одночасне зниження концентрацій діоксиду сірки (SO_2), оксидів азоту (NO_x), оксиду вуглецю (CO) та пилу до нормативних значень в умовах одного технологічного ланцюга. Також автори зазначають, що комплексний підхід, який би моделював повний цикл очищення викидів компресорної станції – від грубого пилу до газових домішок – у науковій літературі висвітлений недостатньо.

Виклад основного матеріалу дослідження

Об'єктом дослідження є газоповітряні викиди компресорної станції нафтогазового підприємства, що містять тверді частинки, діоксид сірки (SO_2), оксиди азоту (NO_x) та оксид вуглецю (CO), які утворюються в процесі спалювання природного газу та експлуатації газоперекачувального обладнання.

Експериментальна установка моделює систему очищення викидів компресорної станції та включає: циклонний пиловловлювач; рукавний фільтр; абсорбційну колону з водно-лужним розчином; газоаналізатор для контролю концентрацій SO_2 , NO_x та CO ; систему відбору проб газопо-

Таблиця 1

Забруднюючі речовини до та після очищення викидів компресорної станції

Речовина	До очищення, мг/м ³	Після очищення, мг/м ³	Ефективність, %	ГДК, мг/м ³
Пил	2,5	0,12	95,2	0,15
SO ₂	1,8	0,30	83,3	0,50
NO ₂	1,2	0,25	79,2	0,20
CO	18,0	4,0	77,8	5,00

вітряної суміші. Газоповітряна суміш відбиралася з умовної димової труби компресорного агрегату до та після проходження системи очищення.

Здійснювався відбір проб газоповітряної суміші на виході з газотурбінної установки до очищення. Потік пропускався через систему уловлювання (циклон → фільтр → абсорбер).

- Проводився повторний відбір проб після очищення.
- Визначалися концентрації SO₂, NO_x, CO та твердих частинок.

Результати експериментальних досліджень показали, що застосування комбінованої системи очищення дозволяє істотно знизити концентрації основних забруднюючих речовин, характерних для об'єктів нафтогазової галузі. Після очищення концентрації пилу, SO₂ та CO не перевищують нормативних значень ГДК.

Для оксидів азоту після очищення спостерігається незначне перевищення ГДК, що вказує на необхідність застосування додаткових методів нейтралізації, зокрема селективного каталітичного або некаталітичного відновлення (SCR або SNCR).

Отримані результати підтверджують доцільність упровадження багатоступеневих систем газоочистки на компресорних станціях та газопереробних підприємствах.

Згідно з даними, наведеними на рисунку 1, до впровадження системи очищення викидів спостерігалось значне перевищення гранично допустимих концентрацій для всіх досліджуваних забруднюючих речовин, зокрема для твердих частинок (у 16,7 раза) та оксидів азоту (у 6 разів). Після застосування комбінованої системи уловлювання концентрації пилу, SO₂ та CO були знижені до нормативних значень або наближені до них.

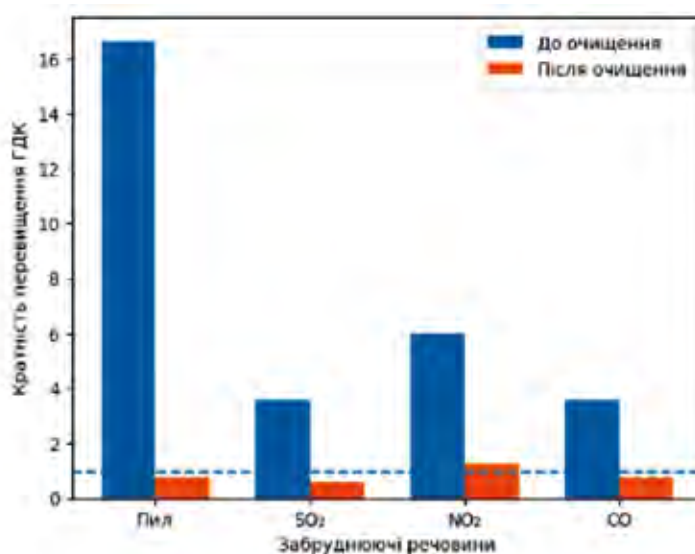


Рисунок 1. (по осі Y – кратність перевищення ГДК; пунктирна лінія відповідає рівню ГДК = 1)

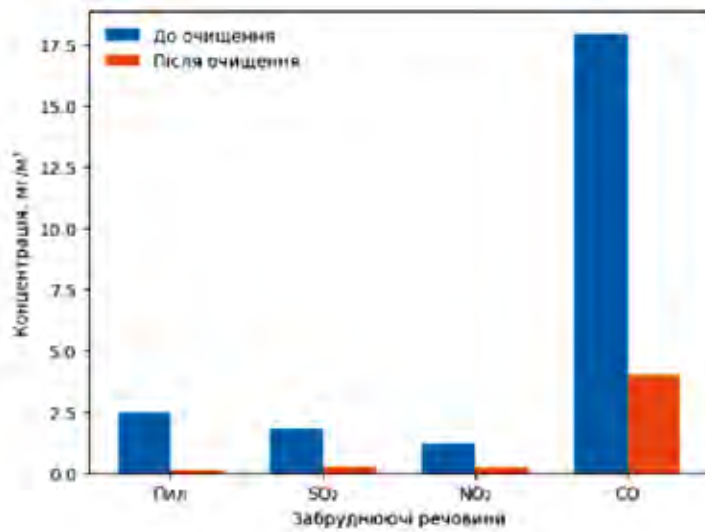


Рисунок 2. (по осі Y – концентрація, мг/м³; по осі X – види забруднюючих речовин)
Концентрації забруднюючих речовин у викидах компресорної станції до та після очищення

Для NO₂ зафіксовано незначне перевищення ГДК, що свідчить про необхідність додаткових заходів очищення.

Рисунок 1 – Перевищення гранично допустимих концентрацій забруднюючих речовин до та після очищення викидів компресорної станції

Як видно з рисунка 2, після впровадження системи очищення викидів спостерігається істотне зниження концентрацій усіх досліджуваних забруднюючих речовин. Найбільше зменшення зафіксовано для твердих частинок (з 2,5 до 0,12 мг/м³) та оксиду вуглецю (з 18,0 до 4,0 мг/м³). Отримані результати свідчать про високу ефективність застосованої комбінованої системи газоочистки на об'єктах нафтогазової галузі.

Запропонована система уловлювання та очищення викидів може бути рекомендована для використання на компресорних станціях магістральних газопроводів та газопереробних підприємствах з метою зниження техногенного навантаження на атмосферне повітря та дотримання екологічних нормативів.

Висновки та перспективи подальших досліджень

На основі проведених експериментальних досліджень встановлено, що застосування комбінованої системи газоочистки, яка включає циклонний пиловловлювач, рукавний фільтр та абсорб-

ційну колону, дозволяє реалізувати комплексний підхід до видалення забруднюючих речовин в одному технологічному ланцюзі.

Впровадження запропонованої схеми забезпечило істотне зниження концентрацій основних поллютантів: ефективність вловлювання твердих частинок склала 95,2 %, діоксиду сірки – 83,3 %, а оксиду вуглецю – 77,8 %, що дозволило досягти нормативних значень гранично допустимих концентрацій (ГДК) для цих показників.

Разом з тим, для діоксиду азоту, незважаючи на загальну ефективність очищення 79,2 %, зафіксовано залишкове перевищення ГДК на рівні 0,25 мг/м³, що пояснюється низькою розчинністю оксидів азоту та обмеженими можливостями абсорбційних методів щодо їх повної нейтралізації.

Отримані результати підтверджують доцільність використання розробленої системи на компресорних станціях магістральних газопроводів та газопереробних підприємствах для зменшення техногенного навантаження на атмосферне повітря.

Перспективи подальших досліджень полягають в удосконаленні технологічної схеми шляхом інтеграції методів селективного каталітичного або некаталітичного відновлення (SCR/SNCR) для підвищення глибини очищення від оксидів азоту, оптимізації складу абсорбентів, а також у проведенні промислових випробувань установки в реальних умовах експлуатації.

Список використаної літератури

1. Дослідження технології біохімічної очистки стічних вод ПАТ ЄВРАЗ «Дніпродзержинський КХЗ» / А.В. Іванченко, О.О. Дупенко, М.А. Криворот, М.Д. Волошин // Збірник наукових праць Дніпродзержинського державного технічного університету (технічні науки). – 2014. – Вип. 1(24). – С. 264 – 269
2. Chipasa, K.B. Limits of physicochemical treatment of wastewater in the vegetable oil refining industry / K.B. Chipasa // Polish Journal of Environmental Studies. – 2001. – Vol. 10, No. 3. – PP. 141 – 147.
3. Екологічна енциклопедія. – К. : Центр екологічної освіти та інформації, 2006. – Т. 1. – 430 с.
4. Статистичний збірник. «Довкілля України». – К., 2006. – С. 48-138.
5. Статистичні дані обласного управління. – Івано-Франківськ. – 2009. – С. 145.
6. Савчук Л.Я. Еколого-географічний аналіз захворюваності населення Івано-Франківської області / I-й міжнародний конгрес. Захист навколишнього середовища. Енергоощадність. Збалансоване природокористування. 28-29 травня 2009 р. Львів : НУ «Львівська політехніка», 2009. – С. 74.
7. Пендерецький О.В. Оцінка екологічної ситуації в зоні впливу Бурштинської ТЕС : дис. ... канд. техн. наук: спец. 21.06.01. Івано-Франківськ, 2005. Т. 1. С. 202.