

Дисертацією є рукопис.

Роботу виконано в Івано-Франківському національному технічному університеті нафти і газу Міністерства освіти і науки України.



Науковий керівник: доктор технічних наук, професор **МАНДРИК Олег Миколайович**, Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу Міністерства освіти і науки України, проректор з науково-педагогічної роботи.

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор **ПЕТРУШКА Ігор Михайлович**, Національний університет «Львівська політехніка» Міністерства освіти і науки України, завідувач кафедри екологічної безпеки та природоохоронної діяльності, заступник директора, декан повної вищої освіти інституту екології, природоохоронної діяльності та туризму імені В.Чорновола.

кандидат технічних наук **ПУКІШ Арсен Володимирович**, НДПІ ПАТ «Укрнафта», начальник лабораторії моніторингу вод та ґрунтів відділу екології.

Захист відбудеться «01» липня 2016 р. о 10 год. 30 хв. на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 20.052.05 Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу за адресою: вул. Карпатська, 15, м. Івано-Франківськ, 76019.

З дисертацією можна ознайомитися у науково-технічній бібліотеці Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу за адресою: вул. Карпатська, 15, м. Івано-Франківськ, 76019.

Автореферат розісланий «30» травня 2016 р.

Учений секретар спеціалізованої вченої ради Д 20.052.05,

д.геол.н.

В.Р. Хомин



an2596

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Тема. Газотранспортна система України є однією з найбільших за розмірами в Європі, яка складається з газопроводів загальною довжиною майже 37 тис. км, 74 компресорних станцій з 713 газоперекачувальними агрегатами (ГПА), в тому числі 438 з газотурбінним приводом і 96 газомотокомпресорів, енергоносієм для яких є транспортований газ. На привід газоперекачувальних агрегатів витрачається 0,5–1,5 % природного газу від обсягу перекачування. Спалювання такої кількості газу погіршує рівень екологічної безпеки атмосферного повітря в районах розташування компресорних станцій.

На сьогодні накопичено матеріали про негативний вплив компресорних станцій (КС) на навколишнє середовище. КС викидають шкідливі речовини, які впливають на рослинний і тваринний світ, а також на приземний шар атмосфери. Найбільшу небезпеку створюють джерела забруднення атмосфери, пов'язані, в першу чергу, з процесами спалювання неорганічного палива. У камерах згорання газоперекачувальних агрегатів газотурбінних двигунів утворюються такі шкідливі речовини як оксид і діоксид азоту, оксид вуглецю та ін., які забруднюють атмосферне повітря. Разом з тим процес спалювання газу є ще не достатньо регульованим, в атмосферу потрапляють токсичні продукти згорання газу, концентрація яких може перевищувати гранично допустимі рівні. Для газоперекачувальних агрегатів, що перебувають в експлуатації на КС, проблема зниження токсичності згорання газу ще не достатньо вирішена.

Отже, подальше вдосконалення технологій спалювання природного газу в камерах згорання, конструкцій газових пристроїв, методів прогнозування складу шкідливих викидів, які забруднюють атмосферу, та способів знешкодження шкідливих речовин є актуальним і важливим технічним завданням, що потребує подальшого розвитку.

Зв'язок з науковими програмами, планами, темами. Робота носить науково-прикладний характер і сприяє виконанню оновленої «Енергетичної стратегії України на період до 2030 року», схваленої розпорядженням Кабінету Міністрів України. Дисертація виконана на базі досліджень, проведених за участю автора, Івано-Франківським національним технічним університетом нафти і газу з держбюджетної та госпдоговірної тематик № 0115U002280 2015-2016 р. (Д-5-15-Д «Методологія екологічно-безпечного використання джерел енергії у сталому туристично-рекреаційному розвитку Карпатського регіону»). Роботу також проведено згідно з програмою («Програма охорони навколишнього природного середовища в межах нафтогазових промислів Богородчанського району на 2010-2015 рр.»), планів впровадження нової техніки Богородчанського лінійного виробничого управління магістральних газопроводів.

Метою роботи є розроблення науково-технічних методів і засобів щодо зменшення шкідливого впливу викидів компресорних станцій на довкілля.

Відповідно до мети дослідження передбачено вирішення таких **завдань**:

- розроблення математичної моделі процесів горіння газу в камері згорання;
- отримання багатofакторних залежностей утворення викидів забруднювальних речовин в атмосферу при різних режимах роботи газоперекачувального агрегату;

– дослідження закономірностей розповсюдження викидів продуктів згорання в атмосферу;

– удосконалення способу очищення викидних газів газотурбінних агрегатів від оксиду вуглецю, розроблення схеми пристрою для його реалізації та пристроїв для контролю забруднення атмосферного повітря твердими частинками.

Об'єкт дослідження – процеси утворення забруднювальних речовин під час роботи ГПА компресорної станції.

Предмет дослідження – методи та засоби зменшення забруднення атмосферного повітря при роботі ГПА.

Методи дослідження – представляють комплекс, що містить аналіз сучасного стану досліджень екологічної безпеки на КС магістральних газопроводів і проведення експериментальних досліджень із використанням методики планування експериментів і статистичного аналізу експериментальних залежностей, математичне моделювання з використанням стандартних програмних продуктів.

Наукова новизна:

– *уперше встановлено* залежності для визначення коефіцієнтів теплопередачі, а також температури вторинного повітря на вході в зону змішування камери згорання ГТУ шляхом математичного моделювання за відомими параметрами режиму експлуатації;

– *удосконалено* метод комплексного обстеження характеристик газотурбінного ГПА, що дозволяє діагностувати параметри, які впливають на концентрацію продуктів згорання;

– *отримано удосконалену* залежність для оцінки розповсюдження забруднення атмосфери в районах розташування компресорних станцій;

– *подальшого розвитку* набули конструктивні технічні та технологічні рішення щодо покращення екологічної безпеки при експлуатації компресорних станцій, а саме, з контролю концентрації твердих частинок у повітрі та з очищення викидних газів від оксиду вуглецю.

Практичне значення одержаних результатів.

Знайшли подальший розвиток теоретичні дослідження, пов'язані з деталізацією роботи камери згорання, отримання залежностей утворення продуктів згорання для прогнозування викидів шкідливих речовин в атмосферу.

Отримано прогнозні багатofакторні залежності зміни концентрації викидів, які дозволяють визначити основні екологічні показники роботи ГПА при різних технологічних режимах.

Запропоновано нові пристрої для вимірювання концентрації твердих частинок у повітрі, спосіб очищення викидних газів компресорних установок від оксидів вуглецю і пристрій для його реалізації, які захищені патентами України № 93599, № 96170, № 102157.

Запропоновано напрямки підвищення рівня екологічної безпеки атмосферного повітря на території Богородчанського ЛВУМГ.

Особистий внесок автора.

Особистий внесок автора полягає у безпосередній його участі на всіх етапах виконання роботи – від формування мети і завдань до експериментальних досліджень і розроблення рекомендацій та їх впровадження. Дисертація є самостійною науковою завершеною працею

автора. Висновки та рекомендації, у тому числі й ті, що характеризують наукову новизну, одержані автором особисто. Автором розроблено комплексне еколого-технічне обстеження газоперекачувального агрегату на різних технологічних режимах його роботи, проведено багатofакторне математичне моделювання процесів горіння в камері згорання ГТУ та отримано залежності утворення викидів оксиду вуглецю CO і оксидів азоту NO_x при зміні: коефіцієнту надлишку повітря, температури продуктів згорання, витрати газу та потужності ГПА.

Запропоновані та захищені патентами пристрої для контролю твердих частинок у повітрі, а також спосіб знешкодження оксиду вуглецю.

За вагомих особистих внесок у розвиток винахідництва і раціоналізації на Прикарпатті автор нагороджена дипломом лауреата обласного рейтингового огляду «Галицький кмітлицець 2015» як переможець у номінації «Кращий молодий винахідник» та нагрудним знаком «Галицький кмітлицець».

Одержані у дисертаційній роботі результати та рекомендації впроваджено в УМГ «ПРИКАРПАТТРАНСГАЗ», Державну адміністрацію управління екології та природних ресурсів в Івано-Франківській області, які підтвердили основні положення роботи, а також у навчальний процес ІФНТУНГ при підготовці бакалаврів за напрямом «Екологія, охорона навколишнього середовища та збалансоване природокористування» під час вивчення дисциплін «Екологічна безпека» та магістрів – дисципліни «Глобальні проблеми екології».

Апробація роботи. Основні результати дисертаційної роботи доповідались і обговорювались на семінарах і конференціях:

- X Всеукраїнська наукова конференція студентів, магістрів та аспірантів «Сучасні проблеми екології та геотехнологій» (Житомир, 2013);
- Materials of the tenth International research and practice conference «Problems and perspectives of development of world science» (s. Donetsk, 2013);
- Міжнародна наук.-практична конф. «Наука і техніка: виклики сьогодення» (Київ, 2013 р.);
- «Природокористування і сталий розвиток: економіка, екологія, управління» (Ірпінь, 2014 р.);
- Всеукраїнська наук.-практична конф. молодих учених та студентів «Екологічна безпека держави» (Київ, 2014 р.);
- на семінарах кафедр екології та безпеки життєдіяльності ІФНТУНГ (2013-2015 рр.).

Публікації. За темою дисертаційної роботи опубліковано 16 праць, у тому числі 5 статей – у наукових фахових виданнях України, 2 – у зарубіжних наукових виданнях, 6 – у матеріалах доповідей вітчизняних і міжнародних конференцій, а також отримано 3 патенти.

Структура дисертації. Дисертація складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, 3 додатків та списку використаних джерел. Робота містить 161 сторінку тексту, в тому числі 39 рисунків (10 окремих сторінок), 20 текстових таблиць (3 окремих сторінок). Список використаних джерел – 145 найменувань.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обгрунтовано актуальність теми дисертації, сформульовано мету роботи, завдання та методи досліджень, висвітлено наукову новизну, теоретичні та методологічні розробки і практичне значення отриманих результатів, а також наведено відомості щодо переліку місць апробації роботи, її структури та обсягу публікацій.

У **першому розділі** охарактеризовано сучасний стан досліджень рівня екологічної безпеки в районах розташування компресорних станцій.

Значний вклад у дослідження впливу роботи компресорних станцій на екологічну безпеку навколишнього середовища, умови праці обслуговувального персоналу внесли О. М. Адаменко, К. С. Борисенко, Д. Велс, Е. Д. Виноградова, С. Вікес, І. Д. Віліс, А. І. Гриценко, В. Я. Грудз, Р. М. Говдяк, І. М. Карпа, С. М. Кореа, Є. І. Крижанівський, П. В. Куцина, А. Лефер, Г. М. Любчик, Л. С. Новікова, Г. Є. Панова, С. В. Сантанам, Я. М. Семчук, М. Д. Середюк, А. Д. Сєдих, Я. І. Сігал, О. А. Скріпка, С. Г. Сова, А. Л. Терехов, Д. Ф. Тимків, А. М. Хофф, В. А. Христич, Л. Б. Чабанович, Б. І. Шелковський, А. П. Шицька й інші вітчизняні та зарубіжні дослідники.

До цього часу ще не достатньо вивчені та узагальнені екологічні моделі, що описують основні технологічні процеси газоперекачувальних агрегатів компресорних станцій, процеси горіння газу в камерах згорання, утворення небезпечних шкідливих викидів та їх розповсюдження за межі компресорних станцій.

Основними небезпечними чинниками, що впливають на природне, виробниче та соціальне середовище під час експлуатації КС, є:

- хімічне забруднення атмосферного повітря внаслідок викидів шкідливих речовин при роботі технологічного обладнання компресорних станцій;
- хімічне забруднення виробничого середовища, в т. ч. робочої зони, внаслідок неорганізованих витоків шкідливих речовин при пошкодженні технологічного обладнання;
- наявність вибухо- і пожежонебезпечних речовин (метан, вуглеводні), що можуть становити техногенну небезпеку під час утворення вибухопожежних газоповітряних сумішей.

Виходячи з сучасного стану проблеми забруднення атмосферного повітря шкідливими речовинами, сформульовано мету та завдання дисертації, результати яких викладено в наступних розділах.

У **другому розділі** подано дослідження процесу згорання газу в камері згорання газоперекачувального агрегату.

Зниження концентрацій забруднювальних речовин (CO , NO_x) в атмосферному повітрі під час роботи КС можна досягнути шляхом оптимізації режимів роботи ГПА, застосування спеціальних заходів і засобів утилізації та знешкодження димових газів, заміни окремих вузлів чи агрегатів КС на електропривід.

Встановлення режимів роботи КС є складним технологічним процесом, який включає регулювання робочих параметрів ГПА, що впливатимуть на пониження температури в камері згорання. Це зумовлене тим, що зі зростанням температури молекула азоту повітря активується і стає більш здатною до

окислення й утворення оксидів азоту в більшій кількості. Найбільш суттєвий вплив на регулювання температури матиме коефіцієнт надлишку первинного повітря, а також інші параметри. У той самий час багатofакторність впливу різноманітних параметрів ГПА на концентрації викидів забруднювальних речовин ускладнюється ще й тим, що агрегати різняться між собою технічним станом.

Одним із найбільш перспективних та ефективних методів очищення продуктів згорання газу є їх нейтралізація шляхом перетворення у нетоксичні речовини.

Камера згорання газотурбінної установки призначена для приготування робочого тіла (суміші чистих продуктів згорання з вторинним повітрям), яке в процесі розширення на лопатках турбіни виконуватиме корисну роботу. З цією метою в камері згорання відбувається процес горіння газового пального в середовищі первинного повітря L з утворенням чистих продуктів згорання і процес їх змішування з вторинним повітрям L_0 для досягнення допустимої температури робочого тіла.

Для визначення величини витрати робочого тіла на кожній ділянці газового тракту розглянемо тепловий баланс камери згорання (в розрахунку на 1 кг паливного газу):

$$I_{ПГ} + I_{ПЕР} + I_{ГОР} = I_{ЧПЗ} + I_{ВТ}, \quad (1)$$

де $I_{ПГ}$ – ентальпія паливного газу, $I_{ПЕР}$ – ентальпія первинного повітря, $I_{ГОР}$ – збільшення ентальпії за рахунок згорання палива, $I_{ЧПЗ}$ – ентальпія чистих продуктів згорання, $I_{ВТ}$ – ентальпія вторинного повітря.

На основі рівності (1) можна визначити коефіцієнт надлишку повітря.

Зауважимо, що надлишок повітря в камері згорання (в порівнянні з його теоретично необхідною кількістю) зумовлює охолодження робочого тіла. Коефіцієнт надлишку повітря пов'язаний із максимальною температурою циклу співвідношенням:

$$\alpha = \frac{Q_H^p \eta_{кк} + C_{П} t_{П} + C_{P}'' t_3}{L_0 (C_{P}'' t_3 - C_{P}'' t_2)}, \quad (2)$$

де $C_{П}$, C_{P}' , C_{P}'' – теплоємності паливного газу, повітря і робочого тіла відповідно; Q_H^p – нижча теплотворна здатність паливного газу, $\eta_{кк}$ – коефіцієнт корисної дії камери згорання.

Не вдаючись у питання визначення теплотворної здатності палива Q_H^p і його теплоємності $C_{П}$, зазначимо, що на основі вимірів температур паливного газу t_1 , повітря після осьового компресора t_2 і робочого тіла перед газовою турбіною t_3 можна з (1) знайти коефіцієнт надлишку повітря.

Однак для використання рівняння (1) необхідно визначити середні питомі теплоємності повітря C_{P}' у діапазоні температур (t_1 , t_2) і робочого тіла C_{P}'' у діапазоні температур (t_4 , t_3). Якщо визначення теплоємності повітря не викликає труднощів, то визначення середньої масової теплоємності робочого тіла C_{P}'' не є очевидним, оскільки невідомий склад робочого тіла. Тому для визначення коефіцієнта надлишку повітря варто застосувати метод послідовних наближень. Алгоритм розрахунку наведено в дисертаційній роботі.

Для вузького діапазону зміни коефіцієнта надлишку повітря в зоні горіння камери згорання можна припустити, що температура горіння не залежить від надлишку повітря і є постійною.

Математична модель камери згорання для умов нестационарного неізотермічного руху робочого тіла може бути представлена у вигляді основних рівнянь гідродинаміки: рівняння зміни імпульсу; рівняння нерозривності; рівняння енергії.

Якщо в рівнянні зміни імпульсу знехтувати гравітаційними втратами і перейти від швидкості до масової витрати M , то отримуємо:

$$\frac{\partial P}{\partial x} + \frac{\xi M^2}{2dF^2} + \frac{1}{F} \frac{\partial M}{\partial t} = 0. \quad (3)$$

У рівнянні нерозривності слід врахувати шляхову подачу вторинного повітря в потік робочого тіла в точці $x=x_0$. Для цього використаємо функцію Дірака $\delta(x-x_0)$ і в остаточному підсумку отримуємо:

$$\frac{\partial P}{\partial t} + \frac{c^2}{F} \left(\frac{\partial M}{\partial x} + \frac{ML_0 c^2}{F} (\alpha + 1) \delta(x - x_0) \right) = 0. \quad (4)$$

У рівнянні енергії знехтуємо впливом ефекту Джон-Томпсона та зміною теплопровідності робочого тіла, і, переходячи до масової витрати, отримуємо:

$$\frac{\partial M}{\partial t} + \frac{M'}{\rho' F} \frac{\partial t}{\partial x} + \frac{ML_0(\alpha+1)C'_p}{\rho' C'_p F} T_2 \delta(x-x_0) - \alpha \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} - \frac{\pi D(T_0 - T)}{\rho' C'_p F} = 0. \quad (5)$$

Зазначеними рівняннями задається зв'язок між основними параметрами робочого тіла (тиском P , температурою T і масовою витратою M) для різних моментів часу t і різних ділянок камери згорання, що характеризуються лінійною координатою x . На межі зони горіння і зони змішування ($x=x_0$) спостерігається ступінчате збільшення витрати, викликане подачею вторинного повітря з витратою M' . Варто врахувати також, що для деяких типів камер згорання діаметр D жарової труби і площа перетину F камери згорання можуть змінюватися по лінійній координаті x .

Отже, рівняння (3-5) створюють математичну модель камери згорання для умов нестационарної неізотермічної течії робочого тіла.

Спрощення математичної моделі, наведеної у формулах (3-5), для стаціонарного режиму виконано шляхом поділу газодинамічних і термодинамічних процесів.

Витрату робочого тіла можна визначити через виміряну витрату паливного газу M_g і коефіцієнт надлишку повітря в камері згорання, розрахований за методикою, наведеною вище.

По розрахунковому складу робочого тіла визначається його газова постійна, середній тиск і температура в зоні змішування.

Густину робочого тіла за середніх умов у камері згорання можна визначити з рівняння стану, розв'язок якого має вигляд:

$$\frac{P_2 - P_3}{L} = \frac{\xi_k M^{*2}}{2\rho F^2}. \quad (6)$$

Із залежності (6) можна визначити коефіцієнт опору камери згорання:

$$\xi_k = 2\rho F^2 (P_2 - P_3) / (LM^{*2}). \quad (7)$$

Стационарний теплообмін робочого тіла, що рухається в жаровій трубі після зони змішування, з потоком вторинного повітря в умовах протитоку має вигляд:

$$K_1 \pi D (T_3(x) - T_2(x)) dx = M^* c_p'' dT_3(x), \quad (8)$$

де K_1 – коефіцієнт теплопередачі від робочого тіла до повітря; D – діаметр жарової труби (приведений); $M^* = M_{II}(L_0 + 1)\alpha$ – масова витрата робочого тіла; C'' – теплоємність робочого тіла при температурі T_3 .

Стационарний теплообмін вторинного повітря з робочим тілом і навколишнім середовищем можна описати рівнянням:

$$K_1 \pi D (T_3(x) - T_2(x)) dx - K_2 \pi D_0 (T_2(x) - T_0(x)) dx = M C_p dT_2, \quad (9)$$

де K_2 – коефіцієнт теплопередачі від вторинного повітря в навколишнє середовище через обшивку з приведеним діаметром D_0 за температури навколишнього середовища T_0 ; C_p – теплоємність повітря за температури T_2 .

Рівняння балансу тепла для зони горіння має вигляд:

$$T_{30} C_p^* (\alpha L_0 + 1) = \alpha L_0 C_p T_{2L} + (\alpha_1 L_0 + 1) C_p T_{03}, \quad (10)$$

де T_{30} – температура робочого тіла на вході в зону змішування; T_{03} – температура факела в зоні горіння; T_{2L} – температура первинного повітря на вході в зону горіння, що надходить з коефіцієнтом надлишку α_1 ; C_p – теплоємність продуктів згорання за температури T_{03} .

Спільне рішення рівнянь (7) – (9) за заданих температури вторинного повітря на вході в камеру згорання T_2 і температури робочого тіла на вході в лопаті направляючого апарата турбіни високого тиску T_3 набуває вигляду:

$$\begin{aligned} & ((T_{2i} - T_{0i}) / (1 - W_T (K_T / W_m + K_0 / W_{II}) - \sqrt{Z_{OT} - 4R_{OT}} / 2K_T + T_{0i})) C_p^* (\alpha L_0 + 1) - \\ & (\alpha L_0 + 1) C_p T_{03} / \alpha L_0 - T_{0i} = 1 - W_T (K_T / W_m + K_0 / W_{II}) - \sqrt{Z_{OT} - 4R_{OT}} / 2K_T) \\ & (T_{3i} - T_{0i} - (\alpha_1 L_0 + 1) C_p T_{03} / \alpha L_0 - T_{0i} (\exp(-(K_T / W_m + K_0 / W_{II}) + \\ & \sqrt{Z_{OT} - 4R_{OT}} \frac{L}{2} - (\exp(-(K_T / W_m + K_0 / W_{II}) - \sqrt{Z_{OT} - 4R_{OT}} \frac{L}{2}))), \end{aligned} \quad (11)$$

де $R_{OT} = K_0 K_T / W_T W_{II}$, $Z_{OT} = K_T / W_m + K_0 / W_{II}$

W_n, W_T – водяні еквіваленти повітря і робочого тіла відповідно;

$$W_n = C_p M W_T = C_p'' M''; \quad (12)$$

W_m – змішаний водяний еквівалент;

$$W_m = W''_n W_T / (W_n + W_T), \quad (13)$$

K_T, K_0 – приведені коефіцієнти теплопередачі від робочого тіла до вторинного повітря і від вторинного повітря в навколишнє середовище.

Наведена математична модель процесів горіння газу в камері згорання дає можливість не лише визначити основні характеристики камери згорання, а й проводити дослідження основних технологічних режимів щодо зменшення викидів забруднювальних речовин в атмосферне повітря.

Такий підхід дозволить провести різноманітні розрахунки й дослідження, а також визначити номінальні показники викидних продуктів згорання та побудувати екологічні характеристики викиду шкідливих речовин при різних робочих режимах ГТУ.

У третьому розділі досліджено закономірності утворення викидів забруднювальних речовин при різних режимах роботи ГПА.

Для комплексного екологічного обстеження роботи газотурбінного газоперекачувального агрегату типу ГТК-10І проаналізовано результати зміни концентрацій викидів оксиду, діоксиду азоту та оксиду вуглецю при зміні технологічних параметрів у таких межах: потужності П агрегату – 6034÷8649 кВт; температури згорання T_3 газу 550÷750 °С; коефіцієнта α надлишку повітря – 1÷1,62; витрат газу Q газу – 1390÷3187 м³/год. При цьому отримано різні значення токсичності продуктів згорання, які змішувалися в межах: концентрація C_{NO} оксиду азоту – 32,2÷68,5 мг/м³, концентрація C_{NO_2} діоксиду азоту – 16,2÷43 мг/м³, концентрація C_{CO} оксиду вуглецю – 70,4÷480,2 мг/м³. Отримано однофакторні та багатofакторні рівняння регресій для дослідження впливу зазначених параметрів на концентрацію шкідливих викидів продуктів згорання в атмосферне повітря.

За результатами досліджень встановлено, що на концентрацію C_{NO} викидів оксидів азоту найбільший вплив має коефіцієнт α надлишку повітря. З його зростанням концентрація оксиду азоту у викидних газах підвищується та має лінійну залежність з коефіцієнтом кореляції, рівним 0,7899. Рівняння регресії задовільно описує розкид експериментальних даних. Вплив температури T_3 продуктів згорання на концентрацію C_{NO} оксиду азоту має нелінійний експоненціальний характер. При її зростанні концентрація C_{NO} спадає, а коефіцієнт кореляції дорівнює 0,648. Про вплив двох інших параметрів потужності П та витрати Q газу можна сказати, що характер зміни їх кривих є експоненціальним і лінійним відповідно. При їх зростанні концентрація C_{NO} оксиду азоту зростає, але це зростання є незначним. Проте не можна стверджувати, що ці параметри не мають впливу на концентрацію C_{NO} оксиду азоту, тому необхідно дослідити їх взаємний вплив у комплексі.

Аналізуючи парні зв'язки зміни концентрації C_{NO_2} діоксидів азоту від коефіцієнта α надлишку повітря встановлено, що вони характеризуються лінійним зв'язком. При зростанні коефіцієнта α концентрація C_{NO_2} викидів діоксидів азоту зростає в межах від 24 мг/м^3 до 38 мг/м^3 . Коефіцієнт кореляції є високий у порівнянні з коефіцієнтами кореляції інших залежностей. Збільшенню концентрації C_{NO_2} викидів діоксиду азоту сприяє збільшення температури T_3 продуктів згорання. Коефіцієнт кореляції рівний 0,611 вказує на тісний зв'язок між цими параметрами.

Щодо двох інших параметрів – потужності P та витрат Q газу, то їх вплив на зміну концентрацій C_{NO_2} характеризується лінійною та експоненціальною залежностями, від витрати Q газу з відносно низьким коефіцієнтом кореляції 0,133 та від потужності P з коефіцієнтом кореляції 0,238. Це вказує на те, що зазначені параметри в парній кореляції впливають на концентрацію C_{NO_2} діоксиду азоту, хоча й не так суттєво. Тому потрібно розглядати їх сумісний вплив на зміну концентрації C_{NO_2} викидів газів.

Для оксиду вуглецю найбільший вплив на концентрацію C_{CO} викидів має коефіцієнт α надлишку повітря, для якого характерна лінійна залежність, але в сторону спадання. Зі зростанням коефіцієнта α концентрація C_{CO} газу оксиду вуглецю зменшується в межах від 280 мг/м^3 до 80 мг/м^3 . Коефіцієнт кореляції для залежності зміни концентрації оксиду вуглецю від коефіцієнта α рівний -0,708, що вказує на тісний зв'язок між цими параметрами.

Суттєвий вплив на концентрацію C_{CO} викидів оксиду вуглецю має також температура T_3 продуктів згорання. Концентрація C_{CO} при зростанні температури T_3 змінюється по лінійній залежності. Вплив потужності P і витрати Q газу не є суттєвим, про що свідчать малі значення коефіцієнтів кореляції.

Концентрація C_{CO} викидів оксиду вуглецю при зростанні витрати Q газу зростає в межах від 150 до 250 мг/м^3 . При зростанні потужності P залежність зміни концентрації C_{CO} оксиду вуглецю має степеневий характер із зменшенням.

Із аналізу одержаних експериментальних даних та проведеного парного регресійного аналізу встановлено, що найбільший вплив на концентрацію C_{NO_2} , C_{CO} викидних газів мають коефіцієнт α надлишку повітря та температура T_3 продуктів згорання, які мають високі коефіцієнти кореляції та адекватно описують експериментальні дані. Щодо двох інших параметрів – потужності P та витрати Q газу – не можна стверджувати, що вони не мають впливу на концентрацію викидів чи цей вплив є незначним. Між цими параметрами існують тісні взаємозв'язки, тому їх вплив на концентрацію викидних газів є комплексним.

Для дослідження комплексного впливу перелічених параметрів використано багатофакторний кореляційно-регресійний аналіз, що дає можливість оцінити міру впливу на концентрацію викидних газів кожного з параметрів процесу при фіксованому середньому значенні інших параметрів.

За результативну ознаку прийняли, відповідно, концентрації викидних газів; за факторні ознаки – потужність, температуру продуктів згорання, коефіцієнт надлишку повітря, витрати газу відповідно. Рівняння лінійної чотирифакторної регресії отримано у вигляді:

$$y = a_0 + a_1 x_1 + a_2 x_2 + a_3 x_3 + a_4 x_4, \quad (17)$$

де y – розрахункові значення результативної ознаки-функції концентрації C_{NO} , C_{NO_2} , C_{CO} викидних газів; x_1, x_2, x_3, x_4 – факторні ознаки П, Тз, α , Q відповідно; a_0, a_1, a_2, a_3, a_4 – параметри рівняння, визначені методом найменших квадратів.

Для визначення коефіцієнтів рівняння регресії застосовано програму Excel, яка має вбудовані статистичні функції. Розрахунки проведено окремо для оксиду азоту NO, діоксиду азоту NO₂ та оксиду вуглецю CO.

Для викидів оксиду азоту NO коефіцієнти регресії: $a_0 = -31,4366$; $a_1 = 0,002755$; $a_2 = 0,025884$; $a_3 = 41,11465$; $a_4 = -0,00263$; коефіцієнт детермінації: $R^2 = 0,654958$; розрахункове значення статистики $F = 22,30379$; число спостережень $n = 52$; число параметрів регресії ступенів вільності знаменника $p = 5$; число ступенів вільності знаменника $p - 1 = 4$; число ступенів вільності чисельника $n - p = 47$; середньоквадратичне відхилення нормальної випадкової величини σ : $SE_{y_0} = 13,59557$; $SE_{y_1} = 0,001719$; $SE_{y_2} = 0,023546$; $SE_{y_3} = 7,930021$; $SE_{y_4} = 0,003155$; дисперсія σ : $SE_{y^2} = 5,972873$; сума квадратів, зумовлена регресією: $SS_{\text{рег.}} = 3182,77$; сума квадратів залишків: $SS_{\text{зал.}} = 1676,735$.

Рівняння регресії запишемо:

$$C_{NO} = -31,4366 + 0,002755П + 0,025884Тз + 41,11456\alpha - 0,00263Q. \quad (18)$$

Для викидів діоксиду азоту NO₂ коефіцієнти регресії: $a_0 = -40,276$; $a_1 = 0,002779$; $a_2 = 0,032346$; $a_3 = 21,63776$; $a_4 = -0,00029$; коефіцієнт детермінації: $R^2 = 0,582183$; розрахункове значення статистики $F = 16,37238$; число спостережень $n = 52$; число параметрів регресії ступенів вільності знаменника $p = 5$; число ступенів вільності знаменника $p - 1 = 4$; число ступенів вільності чисельника $n - p = 47$; середньоквадратичне відхилення нормальної випадкової величини σ : $SE_{y_0} = 10,47344$; $SE_{y_1} = 0,001324$; $SE_{y_2} = 0,018139$; $SE_{y_3} = 6,108945$; $SE_{y_4} = 0,002431$; дисперсія σ : $SE_{y^2} = 4,601243$; сума квадратів, зумовлена регресією: $SS_{\text{рег.}} = 1386,508$; сума квадратів залишків: $SS_{\text{зал.}} = 995,0576$.

Рівняння регресії запишемо:

$$C_{NO_2} = -40,276 + 0,002779П + 0,032346Тз + 21,63776\alpha - 0,00029Q. \quad (19)$$

Для викидів оксиду вуглецю CO коефіцієнти регресії: $a_0 = 871,9206$; $a_1 = -0,01665$; $a_2 = -0,09184$; $a_3 = -384,339$; $a_4 = 0,00443$; коефіцієнт детермінації: $R^2 = 0,520561$; розрахункове значення статистики $F = 12,7578$; число спостережень $n = 52$; число параметрів регресії ступенів вільності знаменника $p = 5$; число ступенів вільності знаменника $p - 1 = 4$; число ступенів вільності чисельника $n - p = 47$; середньоквадратичне відхилення нормальної випадкової

величини σ : $SE_{y0}=150,9657$; $SE_{y1}=0,019091$; $SE_{y2}=0,261457$; $SE_{y3}=88,05523$; $SE_{y4}=0,035036$; дисперсія σ : $SE_y^2 = 66,323$; сума квадратів, зумовлена регресією: $SS_{\text{пер.}} = 224473,1$; сума квадратів залишків: $SS_{\text{зал.}} = 206740,8$.

Рівняння регресії запишемо:

$$C_{CO}=871,9206 - 0,01665П - 0,09184T_3 - 384,339\alpha + 0,00443Q. \quad (20)$$

Оскільки коефіцієнти регресії не порівнюються між собою, тому для виявлення впливу окремих факторів та їхніх резервів обчислено часткові коефіцієнти еластичності ε_i , а також коефіцієнти β_i .

Часткові коефіцієнти ε_i еластичності показують, на скільки відсотків зміниться результативна ознака при зміні на 1 % кожного фактора та фіксованому значенні інших факторів, а коефіцієнти β_i – на яку частину середнього квадратичного відхилення змінюється результативна ознака при зміні відповідної факторної ознаки на значення її середнього квадратичного відхилення.

Обчислені часткові коефіцієнти ε і β , які отримані на основі одержаних експериментальних даних відповідно для всіх викидних газів. На основі аналізу значень часткових коефіцієнтів еластичності встановлено, що за абсолютним приростом найбільший вплив мають:

- на зростання концентрації C_{NO} викидів оксидів азоту коефіцієнт α надлишку повітря, зі збільшенням якого на 1% концентрація C_{NO} зростає на 1,02 %, а відповідно при зростанні на 1 % температури T_3 продуктів згорання концентрація C_{NO} зменшується на 0,34 %, збільшенні потужності P на 1 % – зростає на 0,38 %, і відповідно при зростанні витрат Q газу на 1 % – зменшується на 0,13 %;

- на зростання концентрації C_{NO_2} викидів діоксиду азоту має коефіцієнт α надлишку повітря, зі збільшенням якого на 1 % концентрація C_{NO_2} зростає на 0,96 %, а відповідно при зростанні на 1 % температури T_3 продуктів згорання концентрація C_{NO_2} збільшується на 0,77 %, збільшенні потужності P на 1 % – зростає на 0,69 %, і відповідно при зростанні витрат Q газу зменшується на 0,03 %;

- на зміну зростання концентрації C_{CO} викидів оксиду вуглецю має коефіцієнт α надлишку повітря, зі збільшенням якого на 1 % концентрація C_{CO} зменшується на 2,34 %, а відповідно при зростанні на 1 % температури T_3 продуктів згорання вона зменшується на 0,29 %, а при збільшенні потужності P на 1 % – спадає на 0,57 %, і відповідно при зростанні витрат Q газу – збільшується на 0,06 %.

Розрахункові значення коефіцієнтів β для викидів оксиду і діоксиду азоту та оксиду вуглецю дозволяють стверджувати, що на концентрації їх викидів найбільший вплив має коефіцієнт надлишку повітря.

Отримані аналітичні залежності характеризують утворення шкідливих викидів продуктів згорання газу в камерах згорання, їх кількісну оцінку і дають можливість обґрунтувати та мінімізувати викиди шкідливих речовин в атмосферу, розробити програми покращення екологічної ситуації на

територіях.

У четвертому розділі розроблено заходи та способи зменшення викидів забруднювальних речовин ГПА в атмосферне повітря. У результаті статистичної обробки фактичних даних встановлено, що найбільш значний вплив на концентрацію забруднювальних речовин у викидах ГПА має коефіцієнт надлишку повітря. На рис. 1 показано нормативну санітарно-захисну зону та кореговані її розміри при різних значеннях коефіцієнта надлишку повітря відповідно до рози вітрів.

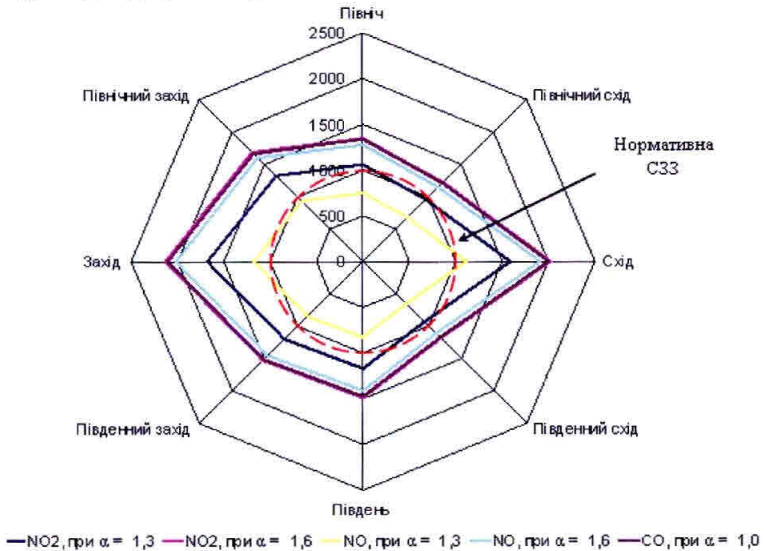


Рис. 1. Нормативна СЗЗ та кореговані її розміри відповідно до рози вітрів для забруднювальних речовин

При цьому встановлено, що розміри корегованої санітарно-захисної зони при різних значеннях коефіцієнта надлишку повітря можуть суттєво перевищувати нормативні розміри.

Для зменшення концентрації оксидів та діоксидів азоту у викидах ГПА необхідно вжити спеціальних засобів налагодження режиму горіння газу у камерах ГПА.

Для зменшення впливу оксиду вуглецю на атмосферне повітря ми розробили спеціальні заходи, які дозволяють понизити концентрації CO у викидах ГПА.

На рис.2 показано траєкторію руху викидів продуктів згорання в атмосферне повітря. З газотурбінного агрегату викиди потрапляють в збірний колектор, з'єднаний з вертикальною викидною трубою висотою h та діаметром d . Для дослідження руху частинок викидів газу виберемо нерухому систему координат zOy , яка пов'язана з джерелом викидів. Вісь z направимо по осі вертикальної труби, вісь y за напрямом вітру. Під час руху викидних газів у колекторі і димовій трубі відбувається їх змішування, яке залежить від діаметра

і довжини колектора та викидної труби, режиму руху газів, їх властивостей, дифузії та іншого. Вважатимемо, що викидні гази утворюють однорідну суміш, яка викидається із труби висотою h зі швидкістю V_0 .

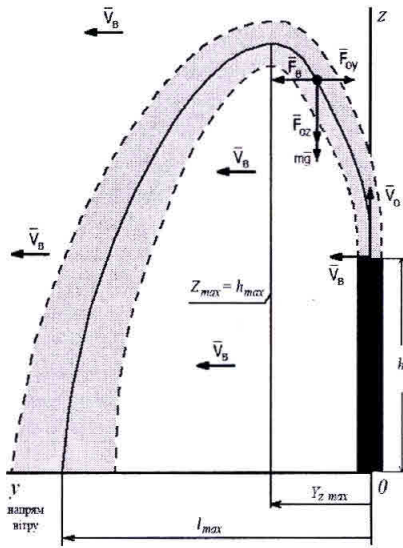


Рис. 2. Траєкторія розповсюдження викидів продуктів згорання в атмосфері

Рух димових газів в атмосферному повітрі складається з переносного руху середовища та відносного руху викидних частинок- продуктів згорання. При русі газовикидної суміші проходять мікрозаємодії елементарних частинок у часі та просторі. У першому наближенні приймемо, що центр виділеного об'єму рухається по криволінійній траєкторії, яка незначно змінюється від дифузійних процесів.

На виділений об'єм викидного газу діють сила ваги mg і сила тиску вітру F_B . При вертикальному русі вверх сила опору рухові F_{oz} спрямована по осі z в протилежну сторону, а в горизонтальному – сила F_{oy} паралельна до осі y в сторону, протилежну до руху.

Складені диференціальні рівняння руху в проекціях на осі y і z з урахуванням початкових умов при $t=0$, $y(0)=0$, $y'(0)=V_B$, $z(0)=h$, $z'(0)=V_0$ дозволили отримати такі залежності:

$$y = \frac{V_B m}{K - K_{oy}} * (e^{\frac{K - K_{oy} t}{m}} - 1), \quad (21)$$

$$z = \frac{1}{K_{oz}^2} \left(hK_{oz}^2 + m^2 g + mV_0 - (m^2 g + mV_0) e^{\frac{-K_{oz} t}{m}} - mgK_{oz} t \right). \quad (22)$$

Залежності описують рух центру виділеного об'єму в площині zOy . При виключенні параметра t з цих рівнянь у роботі отримано рівняння траєкторії руху центра виділеного об'єму.

Тривалість T руху викидів з димової труби до приземлення можна визначити з рівняння (22) при $z=0$. Підставивши значення T в рівняння (21), отримаємо залежність, що дозволяє оцінити вплив швидкості V_0 викиду

продуктів згорання, швидкості V_B вітру, маси виділеного об'єму, опору середовища K , K_{oy} , K_{oz} висоти h і діаметра d викидної труби на дальність $l_{max}=y(T)$ розповсюдження продуктів згорання у вигляді:

$$l_{max} = y(T) = \frac{V_B m}{K - K_{oy}} * (e^{\frac{K - K_{oy} T}{m}} - 1). \quad (23)$$

Запропонований підхід дозволяє також визначити максимальну висоту z_{max} підйому продуктів згорання.

Запропоновано спосіб удосконалення очищення СО у викидних газах (патент України № 102157) газотурбінних установок, що полягає в додатковій подачі іонізованого повітря у викидні гази за допомогою повітряного компресора та іонізаційної камери з лампами ультрафіолетового світла, що подає повітря у викидні гази. При розв'язанні задачі до уваги було взято той факт, що іонізовані молекули O_2 у повітрі змішуються з викидами газів сприяють перетворенню СО в CO_2 .

На рис. 3 зображено функціональну схему запропонованого пристрою для здійснення способу очищення СО у викидних газах, який складається з повітряного компресора 1, іонізаційної камери 2, лампи ультрафіолетового світла 3, викидної труби турбіни 4, димової труби 5 і турбіни 6.

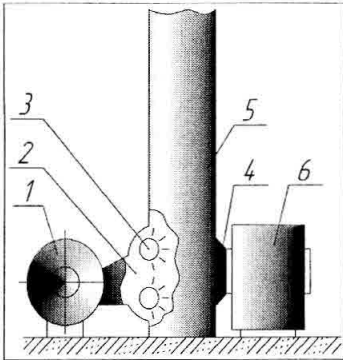


Рис. 3. Схема пристрою для здійснення доокислення оксиду вуглецю СО у викидних газах газотурбінної установки

станцій, які захищено патентами України № 93599, № 96170 і передано Богородчанському лінійному виробничому управлінню магістральних газопроводів для використання.

Основні теоретичні та практичні результати дослідження впроваджено в навчальний процес на кафедрі екології Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу.

Для реалізації способу у викидну трубу 4 турбіни 6 через вхід, що сполучає її з іонізаційною камерою 2 за допомогою повітряного компресора 1, подається повітря, яке, проходячи через іонізаційну камеру 2, іонізується ультрафіолетовими лампами 3 (наприклад, ДРК-1000) і змішується з викидними газами у викидній трубі 4. Іони кисню при змішуванні з молекулами СО вступають у реакцію доокислення до CO_2 , що, в остаточному підсумку, приводить до очищення викидних газів від оксиду вуглецю.

Також запропоновано пристрої для контролю за викидами твердих частинок у атмосферне повітря на території компресорних

ВИСНОВКИ

На основі проведених досліджень вирішено важливе науково-технічне завдання підвищення рівня екологічної безпеки атмосферного повітря у районах розташування компресорних станцій шляхом встановлення теоретичних і експериментальних залежностей процесів згорання газу в камерах згорання, утворенням викидних газів, які містять оксиди азоту та оксиди вуглецю при різних режимах роботи газоперекачувальних агрегатів типу ГТК-101, що дозволяє зробити такі висновки:

1. Встановлено залежності коефіцієнтів теплопередачі, температури вторинного повітря на вході в зону змішування на основі створеної аналітичної моделі камери згорання газотурбінного агрегату за відомими параметрами режиму експлуатації агрегату.

2. Отримано нові узагальнені багатофакторні математичні залежності зміни концентрації викидів оксидів азоту і вуглецю при зміні витрат газу, потужності, коефіцієнта надлишку повітря та температури згорання газу ГПА та встановлено, що зі зростанням:

- коефіцієнта надлишку повітря концентрація викидних газів оксиду і діоксиду азоту зростає, а оксиду вуглецю зменшується;

- температури згорання концентрація викидних газів оксиду і діоксиду азоту зростає, а оксиду вуглецю зменшується;

- витрати газу та потужності газотурбінного двигуна концентрації викидних газів оксиду азоту і оксиду вуглецю незначно змінюються, а концентрації діоксиду азоту зростають.

На основі статистичної обробки даних і аналізу рівнянь множинної регресії з урахуванням ступеня варіації параметрів, закладених у рівняння множинної регресії, встановлено, що найбільший вплив на зміну концентрації оксидів азоту та оксиду вуглецю має коефіцієнт надлишку повітря.

3. За результатами теоретичних і експериментальних досліджень встановлено, що зі зростанням коефіцієнта надлишку повітря викидні концентрації оксидів азоту зростають, а оксиду вуглецю – зменшуються. Відстань, на яку розповсюджуються продукти згорання, пропорційна швидкості вітру і функціонально пов'язана з масою та швидкістю викидів продуктів згорання, висотою викидної труби, коефіцієнтами опору середовища.

4. Запропоновано новий пристрій і спосіб для часткового знешкодження оксиду вуглецю у викидних газах компресорних станцій шляхом їх іонізації ультрафіолетовими випромінювачами для доокислення молекул оксиду вуглецю та утворення діоксиду вуглецю, що сприяє очистці викидних газів від оксиду вуглецю, а також нові пристрої для контролю концентрації твердих частинок викидних газів в атмосферне повітря та контролю забруднення повітря твердими частинками.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Публікації у наукових фахових виданнях

та виданнях іноземних держав

1. Михайлюк Ю. Д. Екологічний стан території компресорних станцій / Ю. Д. Михайлюк // Науковий вісник НЛТУ України: збірник науково-технічних праць. Вип. 24.2. – Львів : РВВ НЛТУ України, 2014. – С. 119–124. Index Copernicus.
2. Михайлюк Ю. Д. Механізм і фактори утворення оксидів нітрогену і карбону при згоранні природних газів / Ю. Д. Михайлюк // Наукові нотатки. Міжвузівський збірник (за галузями знань «Машинобудування та металообробка», «Інженерна механіка», «Металургія та матеріалознавство»). Вип. 44. – Луцьк : Луцький НТУ, 2014. – С.179–183.
3. Михайлюк Ю. Д. Характеристика джерел утворення забруднюючих речовин Богородчанського ЛВУМГ Ю. Д. Михайлюк // Науковий вісник НЛТУ України : збірник науково-технічних праць. Вип. 24.8. – Львів : РВВ НЛТУ України, 2014. – С. 125–131. Index Copernicus.
4. Михайлюк Ю. Д. Дослідження характеристик шумового забруднення на компресорних станціях магістральних газопроводів / Ю. Д. Михайлюк // Екологічна безпека та збалансоване ресурсокористування: науково-техн. журнал № 2(10). – Івано-Франківськ : Голіней, 2014. – С. 29–36.
5. O. M. Mandryk. Determination of Multifactor Dependencies of Change of Exhaust Gases Composition in Different Modes of Gas Pumping Unit Operation / Mandryk O. M., Tyrylysh V. V., Mykhailiuk Yu. D. // Scientific Bulletin Al Centrului Universitar Nord Din Baia Mare. – Volume XXIX No.2. – 2014. – p. 71–83. *Автору належить проведення та аналіз експериментальних досліджень.*
6. Мандрик О. М. Багатофакторний аналіз комплексного еколого-технічного обстеження газоперекачувального агрегату на різних технологічних режимах роботи / О. М. Мандрик, В. В. Тирлич, Ю. Д. Михайлюк // Нафтогазова енергетика. Вип. 2(24). – Івано-Франківськ : ІФНТУНГ, 2015. – С. 44–52. *Автору належить розробка багатофакторних залежностей.*
7. O. M. Mandryk. The Development of Mathematical Model of Gas-Turbine Unit Combustion for Chamber Functioning / Mandryk O. M., Mykhailiuk Yu. D. // Geomatics and Environmental Engineering/ – Volume 10 No.1. – 2016. – p. 69–78. *Автору належить аналіз та інтерпретація наукових досліджень.*

Патенти

8. Пат. 93599 Україна, МПК G01N 21/94 (2006.01). Пристрій для контролю концентрації твердих частинок у повітрі / Михайлюк Ю. Д.; заявник і патентовласник Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу. – № u201404201; подано 18.04.2014 ; опубл. 10.10.2014, Бюл. № 19.
9. Пат. 96170 Україна, МПК G01N 21/94 (2006.01). Пристрій для контролю забруднення повітря твердими частинками / Михайлюк Ю. Д.; заявник і патентовласник Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу. – № u201403112 ; подано 27.03.2014 ; опубл. 26.01.2015, Бюл. № 2.

10. Пат. 102157 Україна, МПК В01J 38/00 С10К 1/00 (2015.01). Спосіб очистки відхідних газів компресорних установок від СО / **Михайлюк Ю. Д.**; заявник і патентовласник Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу. – № u201413739 ; подано 22.12.2014 ; опубл. 26.10.2015, Бюл. № 20.

Тези доповідей

11. Мандрик О. М. Моделювання екологічного ризику надзвичайної ситуації при аварії на газотранспортному вузлі (на прикладі Богородчанського району) / О. М. Мандрик, **Ю. Д. Михайлюк** // Міжнародна наук.-практична конф. «Наука і техніка: виклики сьогодення» (Київ, 8-9 лютого 2013 р.) : тези доповіді. – К. : Науково-технічне об'єднання «Потенціал», 2013. – С. 40–44. *Автору належить проведення теоретичних досліджень та аналіз їх результатів, підготовка матеріалів до опублікування*

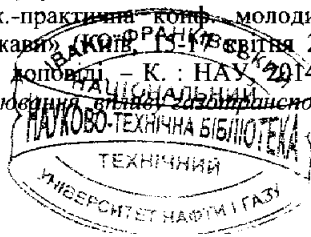
12. Мандрик О. М. Екологічні та економічні наслідки аварійних ситуацій газотранспортних систем / О. М. Мандрик, **Ю. Д. Михайлюк** // Materials of the tenth International research and practice conference «Problems and perspectives of development of world science» (s.Donetsk, 15-17 February 2013) – Donetsk : «Тsyfrovaya tipografia» Ltd, 2013. – Р. 46–51. *Автору належить аналіз результатів досліджень та підготовка матеріалів до опублікування.*

13. **Михайлюк Ю. Д.** Компресорні станції магістральних газопроводів як екологічно-небезпечні об'єкти / **Ю. Д. Михайлюк** // X Всеукраїнська наукова конференція студентів, магістрів та аспірантів «Сучасні проблеми екології та геотехнологій» (Житомир, 10-12 квітня 2013) : тези доповіді. – Житомир : ЖДЕУ, 2013. – С. 88.

14. Мандрик О. М. Екологічний ризик виникнення аварій на магістральних газопроводах / О. М. Мандрик, **Ю. Д. Михайлюк** // Міжнародна науково-технічна конференція «Нафтогазова освіта та наука : стан та перспективи» (10-12 грудня 2014 р.) : тези доповіді. – Івано-Франківськ : ІФНТУНГ, 2014. – С. 345–347. *Автору належить проведення теоретичних досліджень та підготовка матеріалів до опублікування.*

15. Мандрик О. М. Визначення збитків від аварійних ситуацій на об'єктах газотранспортної інфраструктури / О. М. Мандрик, **Ю. Д. Михайлюк** // Міжнародна наук.-практична конф. «Природокористування і сталий розвиток: економіка, екологія, управління» (Ірпінь, 10-11 квітня 2014 р.) : тези доповіді. – Ірпінь: Видавництво Національного університету ДПС України, 2014. – С. 65–67. *Дисертант є автором в частині оцінювання збитків від аварійних ситуацій.*

16. Мандрик О. М. Комплексна екологічна оцінка впливу газотранспортної інфраструктури на довкілля з використанням геоінформаційних систем / О. М. Мандрик, **Ю. Д. Михайлюк** // Всеукраїнська наук.-практична конф. молодих учених та студентів «Екологічна безпека держави» (Київ, 15-16 травня 2014 р. Національний авіаційний університет): тези доповіді. – К. : НАУ, 2014. – С. 22–23. *Дисертант є автором в частині оцінювання впливу газотранспортної інфраструктури на довкілля.*



АНОТАЦІЯ

Михайлюк Ю. Д. Підвищення рівня екологічної безпеки атмосферного повітря в районах розташування компресорних станцій. – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 21.06.01 – екологічна безпека. Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, Івано-Франківськ, 2016.

Дисертація присвячена розробленню науково-технічних методів та способів зменшення шкідливого впливу викидів компресорних станцій в атмосферне повітря. Проаналізовано сучасний стан досліджень рівня екологічної безпеки в районах розташування компресорних станцій. Вивчено та узагальнено екологічні моделі утворення шкідливих викидів, пов'язаних з процесами горіння газу в камерах згорання, під час роботи газотурбінних установок. Приведено модель роботи камери згорання з урахуванням її параметрів і технологічних режимів роботи газоперекачувального агрегату. Проаналізовано механізми утворення шкідливих речовин і особливостей їх викидів в атмосферне повітря. Встановлено багатофакторні прогностичні залежності зміни концентрацій викидів оксиду азоту, діоксиду азоту та оксиду вуглецю залежно від зміни технологічних параметрів: коефіцієнта надлишку повітря, температури згорання газу в камері згорання, витрат газу і потужності агрегату. Отримані залежності використано для дослідження розповсюдження викидних газів з урахуванням швидкості викиду газів, швидкості вітру та інших характеристик.

Запропоновано для використання способи знешкодження оксиду вуглецю в викидних газах, а також пристрої для визначення концентрацій твердих частинок у повітрі на території компресорних станцій, рекомендації щодо зменшення шкідливих викидів компресорних станцій в атмосферне повітря.

Ключові слова: екологічна безпека, компресорна станція, газоперекачувальний агрегат, камера згорання газу, природний газ, атмосферне повітря, шкідливі речовини.

АННОТАЦИЯ

Михайлюк Ю. Д. Повышение уровня экологической безопасности атмосферного воздуха в районах размещения компрессорных станций. – На правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 21.06.06 – экологическая безопасность. Ивано-Франковский национальный технический университет нефти и газа, Ивано-Франковск, 2016.

Диссертация посвящена разработке научно-технических методов и средств для уменьшения вредного влияния выбросов компрессорных станций на окружающую среду. В работе приведен анализ современного состояния исследований уровня экологической безопасности в районах размещения компрессорных станций. Отмечена необходимость обобщения экологических моделей основных технологических процессов работы газоперекачивающих агрегатов компрессорных станций.

Проведены исследования процессов горения газа в камере сгорания газоперекачивающего агрегата. Описано приготовление рабочего тела,

определение коэффициента избытка воздуха, рассмотрен тепловой баланс камеры сгорания.

Математическая модель камеры сгорания, построенная для нестационарного изотермического движения рабочего тела, учитывает основные уравнения гидродинамики: уравнение изменения импульса, уравнение неразрывности потока и уравнение энергии. Проведено упрощение модели для стационарного режима работы путем разделения газодинамических и термодинамических процессов. Полученные зависимости учитывают стационарные теплообменные процессы рабочего тела с потоком вторичного воздуха с окружающей средой, а также баланса тепла в зоне горения. Модель содержит взаимосвязи между основными характеристиками камеры сгорания и технологическими режимами.

Установлены многофакторные закономерности изменения концентрации загрязняющих веществ при разных режимах работы газоперекачивающих агрегатов с учетом технологических параметров: коэффициента избытка воздуха, температуры сгорания газа в камере сгорания, расхода газа и мощности агрегата. Определено, что наибольшее влияние на изменение концентрации оксидов и диоксидов азота, оксидов углерода оказывает коэффициент избытка воздуха, меньшее влияние – мощность агрегата и расход газа.

В диссертации приведены разработанные средства и способы для снижения загрязнения атмосферного воздуха. Представлена нормативная санитарно-защитная зона и откорректированы ее размеры при разных значениях коэффициента избытка воздуха в соответствии с розой ветров. Размеры откорректированной санитарно-защитной зоны при разных значениях коэффициента избытка воздуха могут существенно превышать нормативные размеры.

Определена дальность распространения продуктов сгорания с учетом скорости выбросов газов, скорости ветра, высоты дымоотводящей трубы и других характеристик. Предложены способ снижения токсичности оксида углерода и схемы устройств для определения концентрации твердых веществ в воздухе на территории компрессорных станций.

Ключевые слова: экологическая безопасность, компрессорная станция, газоперекачивающий агрегат, камера сгорания газа, природный газ, атмосферный воздух, вредные вещества.

ABSTRACT

Mykhailiuk Yu.D. Rise of atmospheric air ecological safety level in the compressor stations location areas. – Manuscript copyright.

Thesis for the scientific degree of Candidate of Technical Sciences in Speciality 21.06.01- ecological safety. Ivano-Frankivsk national technical university of oil and gas, Ivano-Frankivsk, 2016.

The given thesis presents the development of scientific-technical methods and approaches of decreasing the detrimental effect of compressor stations emission into the atmospheric air. The current investigations of ecological safety level in the compressor stations location areas have been analyzed. The ecological simulators of creation the harmful emissions combined with the processes of gas burning in the

combustion chambers when gas-turbine rig operates have been studied and integrated. The combustion chamber simulator with all the parameters and technological modes of work of gas pumping set has been presented. The mechanisms of creation the harmful substances and peculiarities of their emission into the atmospheric air have been analyzed. The multifoci expected correlation of concentration changes of nitrogen oxide, nitrogen dioxide and carbon oxide emission have been determined. It depends on the technological parameters changes: air surplus coefficient, gas burning temperature in the combustion chamber, gas consumption and set power. The obtained correlation has been employed for the study of discharged gases spreading considering the gases emission velocity, wind velocity and other characteristics. The method of carbon oxide neutralization in the emitted gases as well as the devices for determination the concentration of solid particles in the air at the compressor stations areas, the proposals for decreasing the harmful emissions of compressor stations into the atmospheric air have been suggested.

Key words: ecological safety, compressor station, gas pumping set, gas combustion chamber, natural gas, atmospheric air, harmful substances.