УДК 504.064
DOI: 10.31471/2415-3184-2020-2(22)-48-57

Г. М. Кривенко
Івано-Франківський національний
технічний університет нафти і газу

АНАЛІЗ ВИКИДІВ ПАРНИКОВИХ ГАЗІВ У АТМОСФЕРНЕ ПОВІТРЯ ОБ'ЄКТАМИ НАФТОГАЗОВОГО КОМПЛЕКСУ

На підприємства нафтогазового комплексу припадає значна кількість викидів парникових газів. Головним завданням екологічної політики підприємств нафтогазової галузі є забезпечення ефективного функціонування, що включає в себе і зменшення екологічних ризиків у процесі виробничої діяльності. Вирішення проблем, що пов'язані з охороною навколишнього середовища та покращення якості його соціальної складової, завжди є актуальним. Актуальність полягає у зменшенні техногенного навантаження на довкілля підприємствами нафтогазового комплексу. Метою роботи є аналіз викидів парникових газів у атмосферне повітря стаціонарними джерелами. У процесі досліджень вирішувалися такі задачі: моделювання процесу розсіювання парникового газу в атмосферне повітря при викиді зі стаціонарного джерела; аналіз зміни концентрації парникового газу в повітрі та можливість впливу на здоров'я обслуговуючого персоналу. Об'єктом дослідження є підприємство нафтогазового комплексу, предметом дослідження – оцінки викидів парникових газів у атмосферне повітря стаціонарними джерелами.

Обґрунтовано вибір діоксиду вуглецю для проведення досліджень. Розраховано концентрації викидів діоксиду вуглецю стаціонарними джерелами з використанням емпірично-статистичної моделі Гауса. Удосконалено залежність для визначення віртуальної висоти стаціонарних джерел. Змодельовано процес розсіювання діоксиду вуглецю при викиді з стаціонарних джерел, що дасть змогу визначити зміну концентрації газу в атмосферному повітрі на території об'єкта та можливість впливу на персонал. Підтверджено, що зміна концентрації викиду діоксиду вуглецю, залежить від висоти джерела. Із зменшенням висоти стаціонарного джерела концентрація газу в атмосферному повітрі збільшується; на відстані 500 м від джерел концентрація газу в повітрі відповідає нормальному фоновому значенню. За нормальних фонових значень діоксиду вуглецю викиди підприємства не несуть загрози здоров'ю персоналу.

Ключові слова: діоксид вуглецю, концентрація, моделювання, екологічна політика, стаціонарні джерела.

Постановка проблеми. Аналіз досліджень і публікацій. Значна кількість викидів парникових газів припадає на підприємства нафтогазового комплексу. З метою скорочення обсягів їх викидів, згідно з комплексним Планом природоохоронних заходів Нафтогазу на 2015-2020 роки, на підприємствах Групи Нафтогаз здійснюються такі заходи [1]:

– інвентаризація стаціонарних джерел викидів;

– оптимізація технологічних режимів обладнання, що працює на вуглеводневому паливі, та його модернізація;

– виявлення мобільними лабораторіями витоків із запірної арматури та їх усунення за допомогою сучасного обладнання та високоефективних ущільнюючих матеріалів;

– ремонтно-налагоджувальні роботи технологічного обладнання;

– заміна резервуарів із стаціонарною покрівлею на більш сучасні у технологічному плані резервуари із плаваючою покрівлею;

– використання режимів перекачування та експлуатації резервуарів, які забезпечують найменші обсяги викидів забруднюючих речовин.

Незважаючи на проведення оптимізації структури енергетичного сектора національної економіки шляхом збільшення обсягу використання енергетичних джерел із низьким рівнем викидів двоокису вуглецю на 10 % до 2015 року і на 20 % до 2020 року, а також забезпечення скорочення обсягу викидів парникових газів відповідно до задекларованих Україною міжнародних зобов'язань у рамках Кіотського протоколу до Рамкової конвенції Організації Об'єднаних Націй про зміну клімату, проблема не втратила актуальності [2].

Кількість викидів парникових газів у атмосферне повітря на підприємствах Групи Нафтогаз збільшується. Викиди парникових газів складали 5646 тис. т $CO_{2\ екв}$ у 2016 році, а в 2019 році - 7402,6 тис. т $CO_{2\ екв}$. З них викиди у атмосферне повітря діоксиду вуглецю у 2019 році становили 5957,3 тис. т (для порівняння за 2016 рік – 4744.5 тис. т). Загальний обсяг викидів парникових газів

у 2019 році на підприємствах нафтогазового комплексу збільшився на 23,7% порівняно з 2016 роком (збільшення відносно 2018 року становить 1%). Найбільша частка викидів парникових газів була згенерована Укртрансгазом (60,7%) і Укргазвидобуванням (30,1%) [1, 3].

Впровадження заходів щодо скорочення викидів в атмосферу та реалізація програм з енергоефективності мінімізує вплив підприємств нафтогазового комплексу на довкілля. Екологічна безпека об'єктів нафтогазового комплексу – це безпечне для довкілля функціонування будь-якого об'єкта, з одного боку, і відсутність шкідливого впливу оточуючого середовища на об'єкт, з іншого. Слід відмітити, що рівень небезпеки нафтогазового об'єкта для довкілля і здоров'я людини може бути різним – від найнезначнішого відхилення від норми до критичного і навіть катастрофічного [2].

Отже, головним завданням екологічної політики підприємств нафтогазової галузі є забезпечення ефективного функціонування, що включає в себе і зменшення екологічних ризиків у процесі виробничої діяльності.

Тому вирішення проблем, що пов'язані з охороною навколишнього середовища, є завжди актуальним.

Проблеми дослідження викидів забруднюючих речовин та парникових газів у атмосферне повітря висвітлено у наукових працях [4-6]. Оцінювання фактичних викидів із стаціонарних джерел за даними спостережень у зоні розсіювання наведено у [7]. Наукові праці [8, 9] присвячені дослідженню екологічних особливостей території навколо джерел забруднення і аналізу впливу викидів на довкілля та здоров'я людини. Моделювання емісії парникових газів відображено у [10]. У наукових розробках [11-13] наводяться відомості про моделі для опису розсіювання забруднюючих речовин та парникових газів в атмосферному повітрі та даються рекомендації щодо їх практичного використання під час моделювання різних процесів у атмосфері. З аналізу літературних джерел, присвячених проблемам викидів забруднюючих речовин випливає, що необхідно провести комплексний аналіз викидів парникових газів, оскільки питання їх викидів стаціонарними джерелами потребує більш детального дослідження.

Мета досліджень. Метою роботи є аналіз викидів парникових газів у атмосферне повітря стаціонарними джерелами. У процесі досліджень вирішувалися такі задачі:

- моделювання процесу розсіювання парникового газу в атмосферне повітря при викиді зі стаціонарного джерела;
- аналіз зміни концентрації парникового газу в повітрі та можливість впливу на здоров'я обслуговуючого персоналу.

Об'єктом дослідження є підприємство нафтогазового комплексу, предметом дослідження – оцінка викидів парникових газів у атмосферне повітря стаціонарними джерелами.

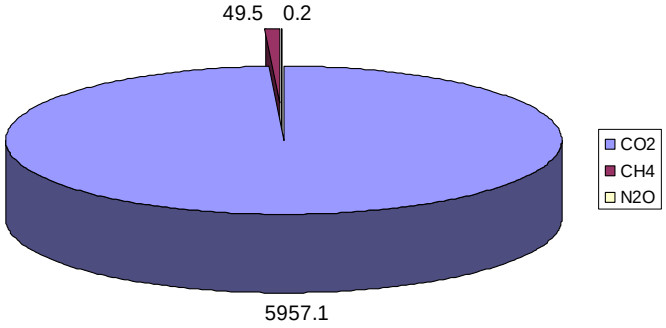
Матеріали та методи досліджень. Оцінка викидів парникових газів у атмосферне повітря проведена на прикладі одного з підприємств нафтогазового комплексу. Для вирішення задач, поставлених у процесі дослідження, немає потреби прив'язуватися до конкретного підприємства.

У результаті діяльності підприємств було спричинено викиди таких парникових газів у атмосферне повітря: діоксиду вуглецю, метану та оксиду азоту [3]. Для обґрунтування вибору парникового газу, що стане предметом дослідження, побудовано діаграму викидів парникових газів у атмосферне повітря підприємствами нафтогазового комплексу у 2019 році (рис. 1) [1]. Потенціал глобального потепління (ПГП), що визначає ступінь впливу різних парникових газів на глобальне потепління, більшості парникових газів перевищує ПГП CO_2, ПГП якого, як еталонного газу, рівний 1. Оскільки основну частину викидів з урахуванням ПГП (80%) складає діоксид вуглецю (рис. 1), то доцільним буде проаналізувати саме його вплив на довкілля.

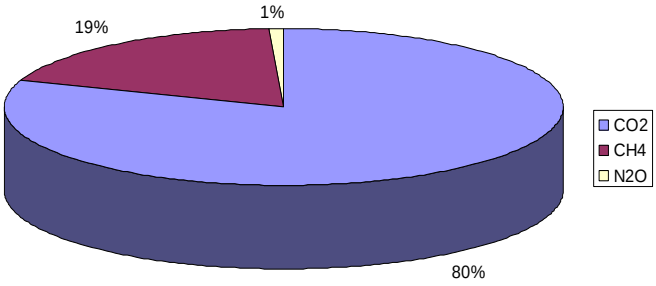
Для проведення аналізу викидів діоксиду вуглецю у атмосферне повітря стаціонарними джерелами вибрано модель розсіювання забруднюючих речовин Гауса (1), яка є однією із найбільш поширених у світі [11].

Моделювання процесу розсіювання діоксиду вуглецю виконано у середовищі MATLAB.

Виклад основного матеріалу. Для оцінки викидів діоксиду вуглецю у атмосферне повітря проведено розрахунки за максимального його річного викиду на одному з нафтогазових підприємств та довільного значення параметрів джерел забруднення. Це дасть змогу оцінити характер викидів у атмосферне повітря за максимальної інтенсивності викидів та вчасно застосовувати заходи щодо зменшення їх впливу на довкілля.



а)



б)

Рис. 1. Розподіл викидів парникових газів (а – за абсолютним значенням, тис. т; б – з урахуванням ПГП, тис. т CO_2 -екв)

Характер розсіювання діоксиду вуглецю визначено за такою формулою **[**14]:

$$C_{(x,y,z,H)} = \frac{M}{2\pi u \sigma_y(x)\cdot\sigma_z(x)}\left[\exp-\left(\frac{y^2}{2(\sigma_y(x))^2}\right)\right]\cdot \left[\exp-\left(\frac{(z-H)^2}{2(\sigma_z(x))^2}\right)+\exp-\left(\frac{(z+H)^2}{2(\sigma_z(x))^2}\right)\right], \quad (1)$$

де C – концентрація у деякій точці з координатами x, y, z, г/м ^{3}; M – масова витрата викиду, г/с; H – ефективна висота джерела, м (висота віртуального джерела); u – середня швидкість вітру на висоті віртуального джерела викидів, м/с; σ_y – стандартне відхилення розсіювання по горизонталі, м; σ_z – стандартне відхилення розсіювання по вертикалі, м; y – бокове відхилення від осі факелу, м.

Ефективна висота джерела (висота віртуального джерела):

$$H = h + \Delta h, \quad (2)$$

де h –геометрична висота джерела викидів, м; Δh – початковий підйом струменя.

З метою удосконалення залежності для визначення ефективної висоти стаціонарного джерела [15], нами запропоновано враховувати замість приземної швидкості вітру швидкість вітру на висоті віртуального джерела.

Початковий підйом струменя:

$$\Delta h = \frac{3{,}7v\cdot r}{u} + \frac{1{,}6g\cdot Q\cdot(T-T_a)}{T_a\cdot u^3}, \quad (3)$$

де v – швидкість виходу газу з джерела викидів, м/с; r – радіус гирла джерела викидів, м; u – середня швидкість вітру на висоті віртуального джерела викидів, м/с; g – прискорення вільного падіння, м^2/с; Q – об'ємна витрата, м^3/с; T – температура газу, °С; Ta – температура навколишнього середовища,°С.

Швидкість вітру на ефективній висоті джерела викидів [7]:

$$u = u_1 \left(\frac{h}{z_1} \right)^p , \quad (4)$$

де h – геометрична висота джерела викидів, м; u_1 – приземна швидкість вітру, м/с; z_1 – висота заміру приземної швидкості вітру, м; p – поправочний коефіцієнт, залежить від стабільності атмосфери [11]

Одним з найбільш істотних чинників, що впливають практично на всі процеси, які обумовлюють поширення речовин зі стаціонарних джерел у атмосферному повітрі, є стійкість атмосфери. Під стійкістю атмосфери розуміється її здатність перешкоджати вертикальним рухам газів. Під час оцінювання розсіювання газів зазвичай вибирають такий клас стійкості, який дає найгірші характеристики з точки зору забруднення атмосфери. Таким є клас стабільності атмосфери «А» [15].

Розглянемо характер розподілу діоксиду вуглецю при класі стабільності атмосфери «А». Для практичного використання наведених рівнянь необхідно знати величини σ_y, σ_z. Значення σ_y, σ_z визначають за діаграмами, отриманими експериментально [11].

Для проведення розрахунків використовувалися такі дані: висота джерел викиду 5 м, 10 м, 15 м; діаметр 0,5 м; масова витрата викиду 6 г/с; швидкість виходу газів 10 м/с, температура газів 450°С; клас стабільності атмосфери «А»; приземна швидкість вітру 1,5 м/с.

Розраховано концентрацію при z=*H*, z=2 м та z=50 м для ефективних висот джерел Н=9,3 м, 14 м та 18,9 м.

Змодельовані процеси розсіювання оксиду вуглецю в атмосферне повітря під час викиду з стаціонарного джерела забруднення наведено на рис. (2-4).

На рис. 2 наведено характер зміни концентрації уздовж осьової лінії струменя для джерел, висоти яких 5 м, 10 м та 15 м (z = H), масова витрата викиду 6 г/с.

Характер зміни концентрації з відстанню х істотно залежить від рівня, до якого вона відноситься. На рівні викиду домішки z = H концентрація зменшується зі збільшенням х. З ростом х це спадання сповільнюється.

Проаналізуємо, як змінюється концентрація викиду. Для джерела висотою 5 м максимальна концентрація складає 0,0024238 г/м^3 при x=0 (рис. 2а). Для джерела висотою 10 м – с= 0,0018568 г/м^3 (рис. 2б), для джерела висотою 15 м – с=0,001569 г/м^3 (рис. 2в). Отже, концентрація зростає із зменшенням висоти джерела забруднення.

Зміна концентрації діоксиду вуглецю залежно від висоти джерела на рівні z = 2 м наведена на рис. 3.

Для джерела висотою 5 м максимальна концентрація с= 0,0026902 г/м^3 буде на відстані х=0 м, а на відстані х=500 м концентрація складає с= 6,0258·10^{-5} г/м^3 (рис. 3а). Для джерела висотою 10 м, максимальна концентрація с= 0,0020863 г/м^3 – на відстані х= 0 м, а на відстані х=500 м с= 5,7291·10^{-5} г/м^3 (рис. 3б). Для джерела забруднення висотою 15 м максимальна концентрація с=0,0015073 г/м^3, а на відстані х=500 м – с= 5,5529·10^{-5} г/м^3 (рис. 3в).

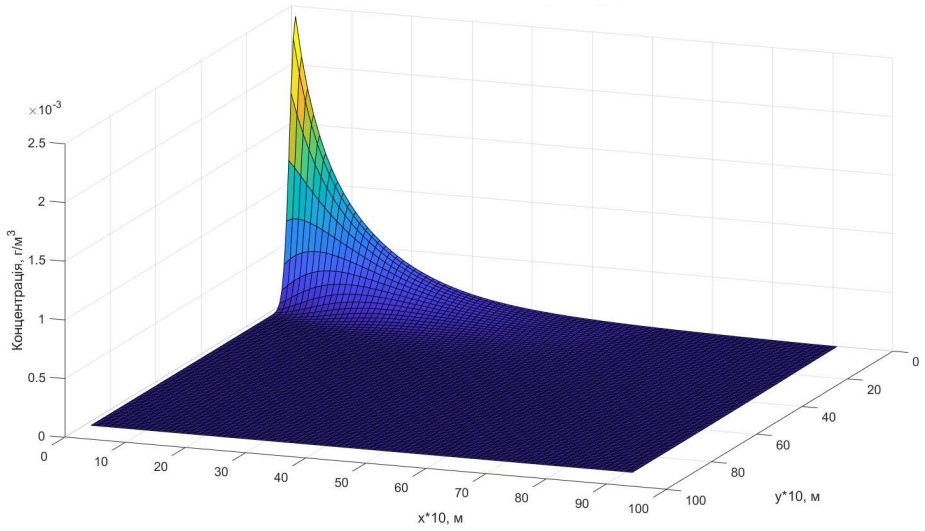
Визначимо, як зміниться концентрації викиду з стаціонарного джерела при збільшенні координати z. Приймаємо z=50 м.

Проаналізуємо, як буде розподілятися концентрація при z=50 м для трьох досліджуваних джерел (рис. 4).

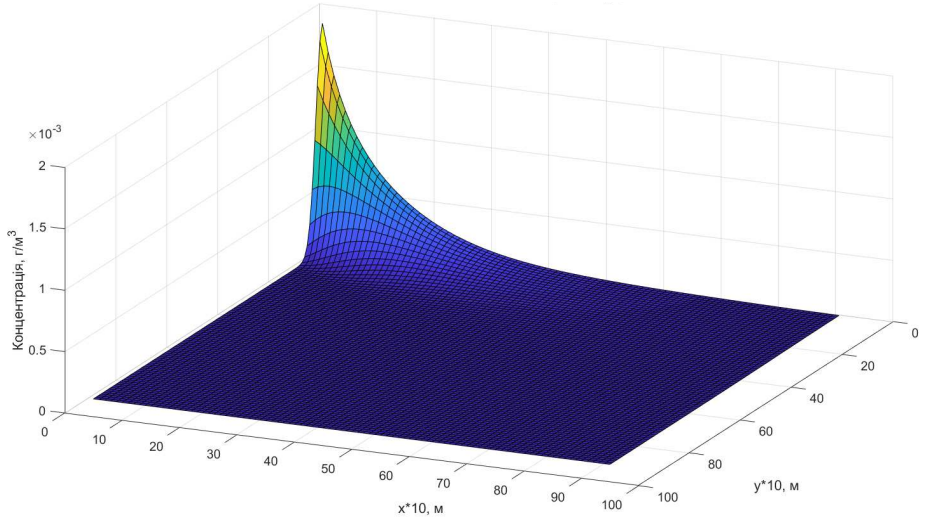
При розгляді рисунків звертає на себе увагу асиметричність форми кривих по відношенню до точки х, що відповідає максимуму концентрації діоксину вуглецю.

Для джерела висотою 5 м максимальна концентрація с= 0,00028105 г/м^3: на відстані 110 м (рис. 4а) Для джерела висотою 10 м – с=0,00028685 г/м^3 на відстані 90 м (рис. 4б). Для джерела висотою 15 м – с=0,00033083 г/м^3 (рис. 4в).

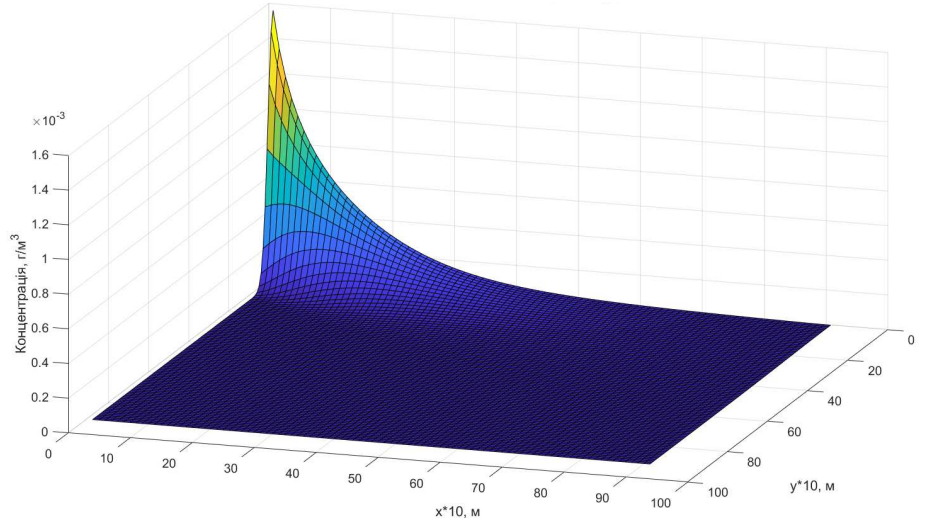
Щодо впливу на організм людини, то 350 ppm – це оптимальне значення вмісту вуглекислого газу у повітрі; збільшення його вмісту до 600 ppm та більше призводить до зниження працездатності та розвитку хронічної втоми [5].



а)

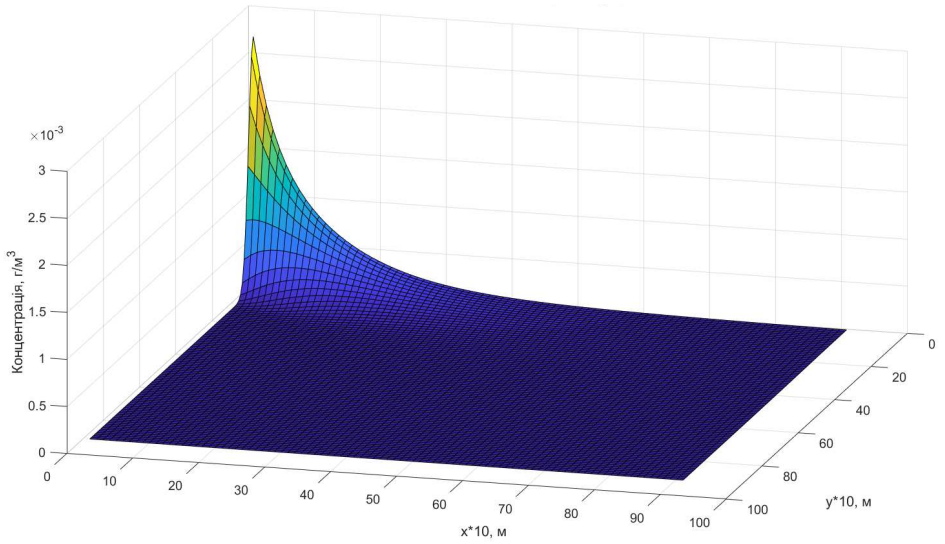


б)

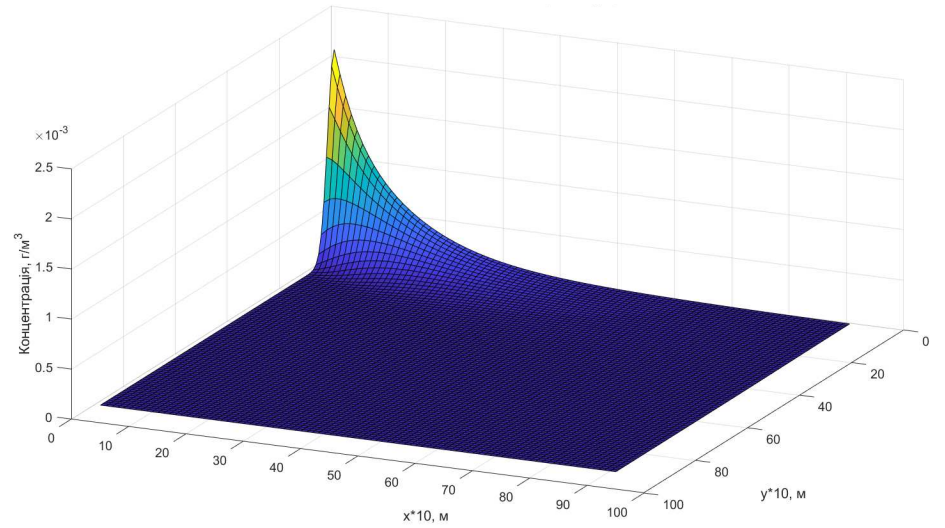


в)

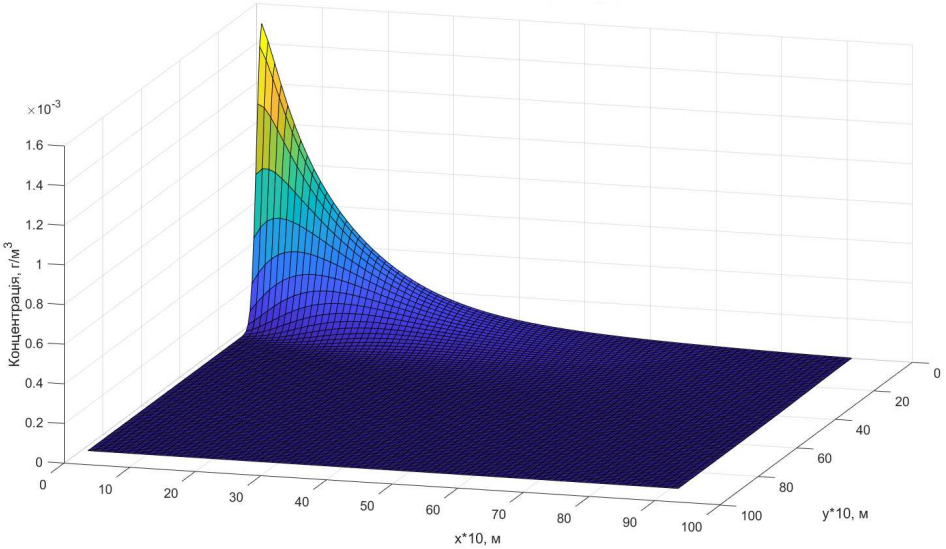
Рис. 2. Концентрація викиду уздовж осьової лінії струменя (а – висота джерела викиду 5 м; б – висота джерела викиду 10 м; в – висота джерела викиду 15 м)



а)

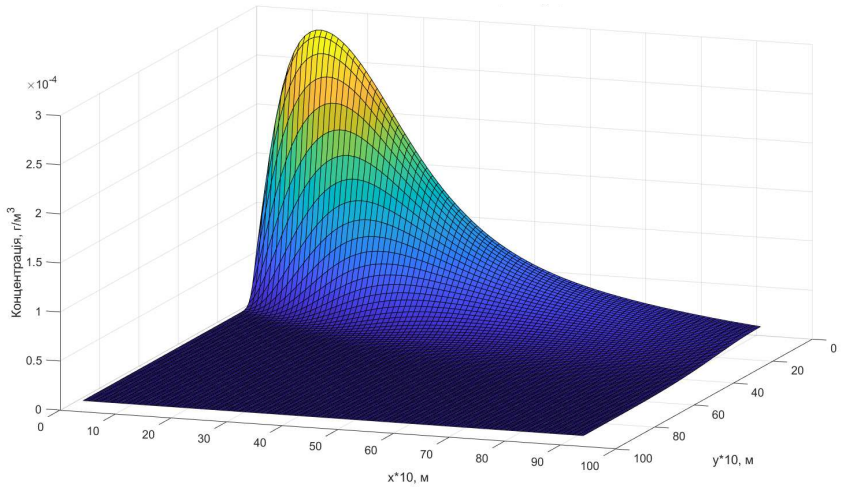


б)

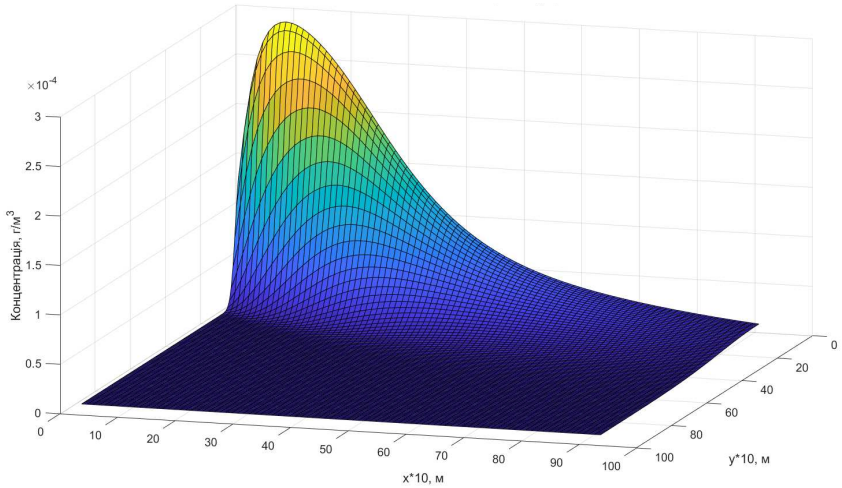


в)

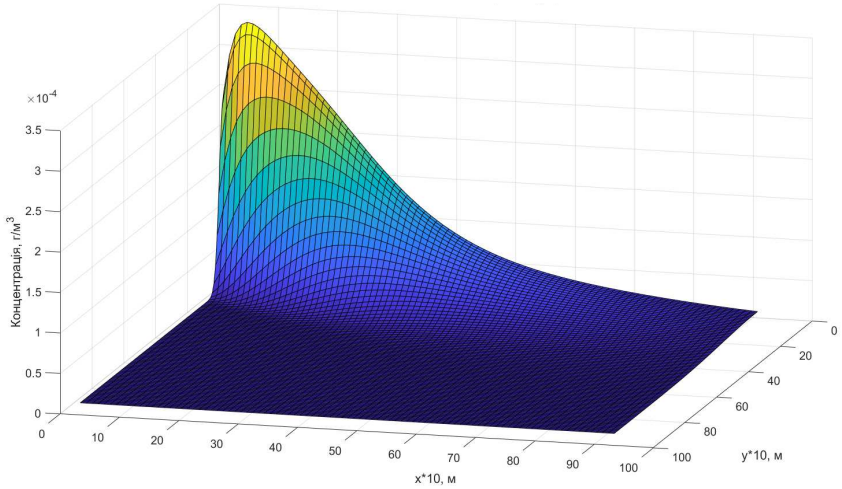
Рис.3. Приземна концентрація викиду при *z*= 2 м (а – висота джерела викиду 5 м; б – висота джерела викиду 10 м; в – висота джерела викиду 15 м)



а)



б)



в)

Рис. 4. Концентрація викиду при *z*= 50 м (а – висота джерела викиду 5 м; б – висота джерела викиду 10 м; в – висота джерела викиду 15 м)

Зміна приземної концентрації по відношенню до фонової має вигляд:

$$\frac{C + C_{ф}}{C_{ф}}, \quad (5)$$

де C – приземна концентрація викиду CO_2, г/м^3; $C_{ф}$ – фонова концентрація CO_2 в атмосферному повітрі, г/м^3.

Як відомо, за нормальних умов в 1 м^3 атмосферного повітря міститься приблизно 350 см^3 CO_2. [6]. Визначимо густину газу за нормальних умов, щоби знайти значення фонової концентрації в г/м^3.

Аналіз показав, що за нормальних фонових значень CO_2, викиди підприємства не несуть загрози здоров'ю персоналу, оскільки зміна концентрації є у межах 0,5-1,5 %.

Висновки. Удосконалена залежність для визначення віртуальної висоти стаціонарних джерел.

Змодельовано процес розсіювання діоксиду вуглецю при викиді зі стаціонарних джерел різної висоти, що дасть змогу визначити зміну концентрації газу в атмосферному повітрі на території об’єкта та можливість впливу на персонал.

Підтверджено, що зміна концентрації викиду CO_2, залежить від висоти джерела. Із зменшенням висоти стаціонарного джерела концентрація газу в атмосферному повітрі збільшується; на відстані 500 м від джерел концентрація газу в повітрі відповідає фоновому значенню.

Аналіз розподілу концентрації показав, що за нормальних фонових значень CO_2, викиди підприємства не несуть загрози здоров'ю персоналу.

Подальший напрямок досліджень полягає у розробленні багатофункціональної системи техногенно-екологічної безпеки об’єктів паливно-енергетичного комплексу.

Література

1 Річний звіт 2019. Група Нафтогаз. URL: https://www.naftogaz.com/files/Zvity/Naftogaz_2019_UA.pdf.

2 Сторчак С.О., Маслюченко В. Г. Дмитрик В. В. Актуальні аспекти екологічної політики в нафтогазовому комплексі (на прикладі Національної акціонерної компанії «Нафтогаз України»// Нафтогазова галузь України. 2015. № 2. С. 40–45.

3 Річний звіт 2018 Група Нафтогаз. URL: https://www.naftogaz.com/files/Zvity/Annual-Report-2018-ukr.pdf.

4 Adamenko Ya. The Methodology of Environmental Impacts Assessment of Environmentally Hazardous Facilities // Environmental Problems, Publishing House of Lviv Polytechnic National University, 2016. 2(1). P. 19–23.

5 Клименко М. О., Залеський І. І. Техноекологія . Рівне: 2010. 298 с.

6 Білецька Г. А. Моніторинг довкілля. Львів: 2013. 149 с.

7 Мокін В. Б., Дзюняк Д. Ю. Метод оцінювання параметрів стаціонарного джерела викиду на основі моделі Гауса за даними оперативного моніторингу зони розсіювання //Математичне моделювання в економіці, 2016. 3-4 (7). С. 27–35.

8 Крижанівський Є. І., Кошлак Г. В. Екологічні проблеми енергетики //Нафтогазова енергетика. 2016. No 1(25) С.80–90.

9 Kryvenko G. M., Vozniak L. V. Research of pollutants emissions into the atmosphere by stationary sources // Book of abstracts III International Scientific-Technical Conference. Kielce. 2019. P.58.

10 Лесів М. Ю., Боянівська Н. І. Просторове моделювання емісій парникових газів у промисловості та будівництві південних регіонів Польщі //Моделювання та інформаційні технології. 2013. Вип. 67. С. 105-110.

11 Берлянд М. Е. Прогноз и регулирование загрязнения атмосферы. Ленинград: Гидрометеоиздат, 1985. 272 с.

12 Енергоекологічна безпека нафтогазових об’єктів: монографія /Р. М. Говдяк та ін. Івано-Франківськ: Лілея –НВ, 2007. 556 с.

13 Беляев Н. Н., Берлов А. В., Шевченко А. В. Моделирование аварийного загрязнения атмосферы при чрезвычайной ситуации в хранилище твердого ракетного топлива // Наука та прогрес транспорту, 2014. №5 (53). С.2–38.

14 Брук В. В., Берешко И. Н. Математические модели в экологии. Ч. 2. Х.: 2006. 68 с.

15 Бекетов В. Е. Евтухова Г. П, Коваленко Ю. Л. Рассеивание загрязняющих веществ в атмосферном воздухе и методики расчета приземных концентраций. Х.: 2011. 74 с.

H. Kryvenko
Ivano-Frankivsk National
Technical University of Oil and Gas

ANALYSIS OF GREENHOUSE GAS EMISSIONS INTO THE ATMOSPHERIC AIR BY OIL AND GAS COMPLEX OBJECTS

Oil and gas companies account for a significant amount of greenhouse gas emissions. The main task of the environmental policy of oil and gas companies is to ensure efficient operation, which includes reducing environmental risks in the production process. Solving the problems related to environmental protection and improving the quality of its social component is always relevant. The urgency is to reduce the man-made load on the environment by oil and gas companies. The aim of the work was to analyze greenhouse gas emissions into the atmosphere by the oil and gas complex objects. In the course of the research, the following tasks were solved: the process of greenhouse gas dispersion in the atmospheric air during emission from a stationary source was modelled; changes in the concentration of greenhouse gas in the air and the possibility of impact on the health of service personnel were analyzed. The research object was the oil and gas company, the research subject – the assessment of greenhouse gas emissions into the atmosphere by stationary sources.

The choice of carbon dioxide for research was substantiated. The concentrations of carbon dioxide emissions from stationary sources were calculated using the empirical-statistical Gaussian model. The dependence for determining the virtual height of stationary sources was improved. The process of carbon dioxide dispersion during emission from stationary sources was simulated, which would help to determine the change of gas concentration in the atmospheric air on the site and the possibility of impact on the personnel. It was proved that the change in the concentration of carbon dioxide emissions depended on the source height. As the height of the stationary source decreases, the concentration of gas in the air increases; at a distance of 500 m from the sources, the concentration of gas in the air corresponds to the normal background value. Under normal background values of carbon dioxide, the company's emissions do not pose a threat to personnel health.

Key words: carbon dioxide, concentration, modeling, ecological policy, stationary sources.

References

1 Annual Report 2019. Naftogaz Group. URL: https://www.naftogaz.com/files/Zvity/Naftogaz_2019_UA.pdf.

2 Storchak S.O., MasluichenkoV.H., Dmytryk V.V. Aktualni aspekty ekologichnoii polityky v naftogazovomu kompleksi (na prykladi aktsionernoi kompanii «Naftogaz Ukrainy»//Naftogazova galuz Ukrainy. 2015. # 2. S. 40–45.

3 Annual Report 2018. Naftogaz Group. URL: https://www.naftogaz.com/files/Zvity/Annual-Report-2018-ukr.pdf.

4 Adamenko Ya. The Methodology of Environmental Impacts Assessment of Environmentally Hazardous Facilities // Environmental Problems, Publishing House of Lviv Polytechnic National University, 2016. **2**(1). P. 19–23.

5 Klymenko M. O., Zaleskyi I. I. Tekhnoekologiia. Rivne: 2010. 298 s.

6 Biletska G. A. Monitoryng dovkillia. Lviv: 2013. 149 s.

7 Mokin V. B., Dziuniak D. Iu. Metod otsiniuvannia parametriv statsionarnoho dzherela vykydu na osnovi modeli Gausa za danymy operatyvnoho monitorynhu zony rozsiiuvannia // Matematychne modeliuvannia v ekonomitsi, 2016. 3-4 (7), S. 27–35.

8 Kryzhanivskyi Ye. I., Koshlauak G. V. Ekolohichni problemy enerhetyky // Naftohazova enerhetyka. 2016. # 1 (25) S. 80 – 90.

9 Kryvenko G. M., Vozniak L. V. Research of pollutants emissions into the atmosphere by stationary sources // Book of abstracts III International Scientific-Technical Conference. Kielce. 2019. P.58.

10 Lesiv M. Yu., Boianivska N. I. Prostorove modeliuvannia emisiy parnykovykh haziv u promysloyosti ta budivnytstvi pivdennykh rehioniv Polshchi // Modeliuvannia ta informatsiini tekhnolohii. 2013. 67. S.105-110.

11 Berlyand M. E. Prognoz i regulirovanie zagryazneniya atmosfery. Leningrad: Gidrometeoizdat, 1985. 272 s.

12 Enerhoekolohichna bezpeka naftohazovykh obiektiv: monohrafiia / R. M. Govdiak ta in. Ivano-Frankivsk: Lileia, NV, 2007. 556 s.

13 Belyaev N. N., Berlov A. V., Shevchenko A. V. Modelirovanie avariynogo zagryazneniya atmosfery pri chrezvyichaynoy situatsii v hranilische tverdogo raketnogo topliva // Nauka ta progres transportu, 2014. #5 (53). S.2–38.

14 Bruk V. V., Bereshko I. N. Matematicheskie modeli v ekologii. Ch. 2. H.: 2006. 68 s.

15 Beketov V. E. Evtuhova G. P, Kovalenko Yu. L. Rasseivanie zagryaznyayuschih veschestv v atmosfernom vozduhe i metodiki rascheta prizemnyih kontsentratsiy. H.: 2011. 74 s.

Надійшла до редакції 30 листопада 2020 р.