



УДК 004.2 УДК 712.4

**MODELING OF THE PROCESSES OF OZONE DISPERSION
BY PURIFICATION FACILITY****МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ РОЗСИЮВАННЯ ОЗОНУ ОЧИСНОЮ СПОРУДОЮ****Tatarchenko Halyna / Татарченко Галина***d.t.s., prof. / д.т.н., проф.*

ORCID: 0000-0003-4685-0337

*Volodymyr Dahl East Ukrainian National University,**Tsentralniy av. 59-A, Severodonetsk, Ukraine, 93404**Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля,**проспект Центральний, 59А, м. Северодонецьк, 93400*

Анотація. У роботі розглядається моделювання процесів розсіювання озону очисною спорудою на міських територіях. Для одиночного джерела викидів озону були розраховані максимальна розрахункова концентрація, яка передбачається для випадків, коли очікується небезпечна швидкість вітру в нижньому шарі атмосфери. Значення максимальної приземної концентрації озону мають екстремальний характер та зі збільшенням швидкості вітру вище знижуються, при цьому відстані розсіювання зростають до 2 км і вище. Отримані профілі розсіювання озону дають можливість оптимально визначити раціональний та економічно найвигідніший комплекс заходів, що забезпечує необхідну чистоту повітряного басейну, встановити вимірювання характеристик викиду, поля концентрацій.

Ключові слова: моделювання, розподіл, озон, міські території, атмосфера.

Вступ.

Апарати мокрої очистки газів використовуються для одночасного розв'язання цілого комплексу завдань: пиловловлення; абсорбція; охолодження газів. Конденсація парів рідини, що містяться в газах, при їх охолодженні сприяє зростанню ефективності мокрих пиловловлювачів [1-2]. Як зрошуючу рідину в них найчастіше використовується звичайна вода або вода із домішками для абсорбції. Зазвичай для економії рідин застосовують замкнуту систему зрошення. При мокрому очищенні технологічних газів у рідині можуть розчинятися газові компоненти (CO_2 , NO_2 , SO_2 та ін.), що утворюють кислоти.

Апарати мокрого очищення мають високу ефективність уловлювання та дешевші, ніж апарати сухого очищення. Вони можуть використовуватися для очищення газів з частинками до 0,1 мкм (турбулентні газопромивачі), а також для одночасного охолодження та зволоження газів. Одночасно із завислими частинками можна вловлювати пароподібні та газоподібні компоненти [3].

Анализ последних достижений и публикаций.

Авторами [4] заявлено корисна модель відноситься до екологічної безпеки урбанізованих територій, а саме, до пристроїв мокрої очистки димових газів методом їх контакту з рідкими каплями для газо- масообміну в скрубери, в якому рідина уприскується в протитечії газу і може бути використана для очищення забрудненого повітря урбанізованих територій, а саме біля міських магістралей від пилових і газоподібних шкідливих домішок.

Основа запропонованої очисної споруди – це мокрий пиловловлювач (скрубер), який характеризується високою ефективністю очищення від дрібнодисперсного пилу розміром до 2 мкм і працює за принципом осадження



частинок пилу на поверхню крапель під дією сил інерції або броунівського руху. Він являє собою вертикальну циліндричну колону, в нижній частині яких вводиться запилене повітря, а зверху через форсунки подають розпорошену рідину. Очищене повітря відводиться з верхньої частини апарату, а вода з вловленим пилом у вигляді шламу збирається внизу скрубєру.

Введення озону в присутності води сприяє швидкому окисленню шкідливої газовой складової забрудненого повітря, від нижчих оксидів до вищих, що значно підвищує їх розчинність у воді і підвищує ступінь очищення від газоподібних оксидів.

Однак за параметрами гострої токсичності озон відноситься до 1 класу небезпеки, максимальна разова ГДК озону в атмосферному повітрі – 0,16 мг/м³, середня добова ГДК озону в атмосферному повітрі – 0,03 мг/м³, тому виникає необхідність проведення моделювання процесу розсіювання озону на прилеглий території [5].

При моделюванні профілів розсіювання озону використовували алгоритм Гаусової моделі, який є найбільш поширеним у моделюванні аналізу повітряної дисперсії та заснований на припущенні, що забруднювач буде поширюватись відповідно до нормального статистичного розподілу [6,7].

Для довгострокового прогнозування найчастіше застосовуються розрахункові (аналітичні, апроксимаційні) моделі, отримані з урахуванням розв'язання рівнянь турбулентної дифузії. Це моделі «факела», «ящика», звичайно-різносні. Ці моделі покладено основою «Методики розрахунку концентрацій у атмосферному повітрі шкідливих речовин, які у викидах підприємств» [8], широко використовуваної для інженерних розрахунків і реалізованої у низці програмних комплексів для розрахунків забруднення атмосферного повітря.

Мета роботи - моделювання процесів розсіювання озону очисною спорудою на міських територіях.

Основні результати досліджень.

Розрахунки проводилися відповідно до наведеної конструкції установки и підібраного інженерно-технічного обладнання очисної споруди. Моделювання проводили на прикладі розподілу, умовних викидів, озону з очисної споруди без урахування фонових забруднень та трансформації речовини.

Максимальну приземну разову концентрацію речовини c_m , мг/м³, при викиді газоповітряної суміші з одиночного точкового джерела з круглим гирлом, при небезпечній швидкості вітру u_m на відстані x_m від джерела викиду розраховували за формулою (1):

$$c_m = \frac{A \cdot M \cdot F \cdot m \cdot n \cdot \eta}{H^2 \cdot \sqrt[3]{V_1 \cdot \Delta}}, \quad (1)$$

де A – коефіцієнт, що залежить від температурної стратифікації атмосфери, що визначає умови горизонтального і вертикального розсіювання речовини в атмосферному повітрі. Значення коефіцієнта A приймають при максимальних значеннях концентрації речовини в атмосферному повітрі;

M - маса речовини, що викидається в атмосферне повітря в одиницю часу



(потужність викиду), г/с;

F – безрозмірний коефіцієнт, що враховує швидкість осідання речовини в атмосферному повітрі;

m і n – безрозмірні коефіцієнти, що враховують умови викиду з гирла джерела викиду;

η – безрозмірний коефіцієнт, що враховує вплив рельєфу місцевості;

H – висота джерела викиду, м;

V_1 – витрата газоповітряної суміші, що визначається за формулою (2), м³/с;

ΔT – різниця між температурою викидається газоповітряної суміші T_T і температурою атмосферного повітря T_a , °C.

$$V = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot w_0, \quad (2)$$

де D – діаметр гирла джерела викиду, м;

w_0 – середня швидкість виходу газоповітряної суміші з гирла джерела викиду, м/с.

При проведенні розрахунків забруднення атмосфери під приземної концентрацією шкідливої речовини розуміється концентрація речовини на висоті 2 м від поверхні землі. Згідно запропонованої моделі очисної споруди визначаємо параметри: $A = 150$; $M = 1$ г/год = 0,28 мг/с; $\eta=1$; $H=3,5$ м; $D = 0,25$ м; $V_1 = 0,66$ м³/с; $w_0 = 13,5$ м/с; $\Delta T = 0,5$ °C.

Значення безрозмірного коефіцієнта F при відсутності даних про розподіл на викиді частинок аерозолів за розмірами визначається для газоподібних і дрібнодисперсних аерозолів діаметром не більше 10 мкм $F = 1$;

Коефіцієнти m і n визначаються в залежності від характеризуючих властивостей джерела викиду параметрів v_M , v'_M , f та f_e :

$$v_M = 0,65 \cdot \sqrt[3]{\frac{V_1 \cdot \Delta T}{H}}, \quad (3)$$

$$v_M = 0,23;$$

$$v'_M = 1,3 \cdot \frac{w_0 \cdot D}{H}, \quad (4)$$

$$v'_M = 1,25;$$

$$f = 1000 \cdot \frac{w_0^2 \cdot D}{H^2 \cdot \Delta T}, \quad (5)$$

$$f = 7,4 \cdot 10^3;$$

$$f_e = 800 \cdot (v'_M)^3. \quad (6)$$

$$f_e = 1562,50;$$

$$m = 0,075. \quad (7)$$

Якщо температура газів, що відходять близька до температури навколишнього повітря, то викиди відносяться до холодних. Холодні викиди при $f \geq 100$ (або) $0 \leq \Delta T < 0,5$ та $v'_M \geq 0,5$ при розрахунку c_M використовується формула (8):



$$c_m = \frac{A \cdot M \cdot F \cdot n \cdot \eta \cdot K}{H^{4/3}}, \quad (8)$$

де

$$K = \frac{D}{8 \cdot V_1} = \frac{1}{7,1 \cdot \sqrt{w_0 \cdot V_1}},$$

Розрахуємо, $K = 0,047$ - тоді $c_m = 0,46$ мг/м³.

Відстань x_m від джерела викиду, на якому приземна концентрація газоповітряної суміші при несприятливих метеорологічних умовах досягає максимального значення c_m , визначається за формулою (9):

$$x_m = \frac{5-F}{4} \cdot d \cdot H, \quad (9)$$

Безрозмірний коефіцієнт d при $f \geq 100$ або $0 \leq \Delta T < 0,5$ знаходиться за формулою (10):

$$d = 11,4 \cdot v'_m \text{ при } 0,5 < v'_m \leq 2, \quad (10)$$

$$d = 11,4 \cdot 1,25 = 14,25; \text{ тоді } x_m = 49,8 \text{ м}$$

Отримані профілі розсіювання озону (рис.1) з яких видно, що максимальна приземна концентрація озону досягається на відстані 50 метрів (вздовж осі ОХ) та досягаються нормативні значення на відстанях понад 500 метрів. Гранично допустимі концентрації вздовж осі ОУ досягаються з відривом 25-30 метрів. Моделювання процесів розсіювання озону очисною спорудою на міських територіях дає можливість оптимально визначити раціональний та економічно найвигідніший комплекс заходів, що забезпечує необхідну чистоту повітряного басейну, встановити вимірювання характеристик викиду, поля концентрацій.

Небезпечна швидкість вітру u_m при $f \geq 100$ або $0 \leq \Delta T < 0,5$ значення обчислюється за формулою (11):

$$u_m = v_m \text{ при } 0,5 < v_m \leq 2 \quad (11)$$

$$u_m = 1,25, \text{ м/с.}$$

Для джерела викиду фіксованої висоти H при $0 \leq v'_m < 0,5$ та $-0,5 \leq \Delta T \leq 0$ може приймається $u_m = 0,5$ м/с. За даними [<https://seiger.pp.ua/srednegodovaya-skorost-vetra-v-gorodax-mira/>] середньорічна швидкість вітру в Києві дорівнює 3,5 м/с.

При проведенні розрахунків слід використовувати значення швидкості вітру u в діапазоні від 0,5 м/с до $u_{m,p}$, де $u_{m,p}$ - максимальна розрахункова швидкість вітру, значення якої в даній місцевості в середньому перевищується в 5% випадків. Відстань від джерела викиду $x_{m,u}$, на якому при швидкості вітру u і несприятливих метеорологічних умовах досягається максимальна приземна концентрація $c_{m,u}$ забруднюючих речовин, визначається за формулою (12):

$$x_{m,u} = p \cdot x_m, \quad (12)$$

де p - безрозмірний коефіцієнт, який визначається за формулами (13):

$$p = 0,32 \cdot \frac{u}{u_m} + 0,68 \text{ при } \frac{u}{u_m} > 1. \quad (13)$$

$p = 1,58$ тоді $x_{m,u} = 78,48$ м.

Максимальна приземна концентрація газоповітряної суміші $c_{m,u}$ при несприятливих метеорологічних умовах і швидкості вітру u , що відрізняється



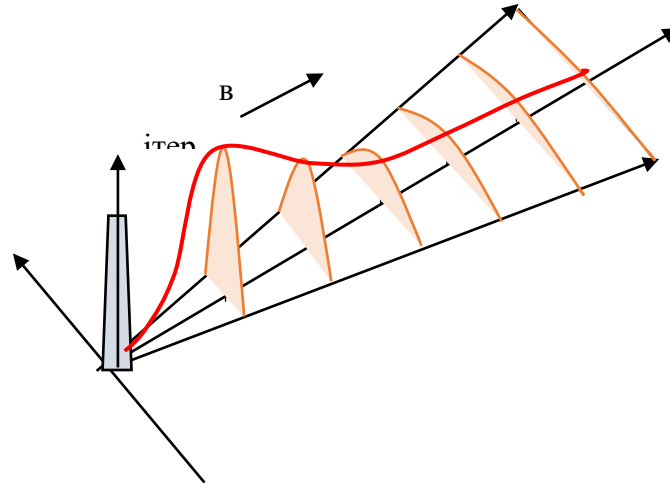
від небезпечної швидкості вітру u_M , визначається за формулою (14):

$$c_{M,u} = r \cdot c_M, \tag{14}$$

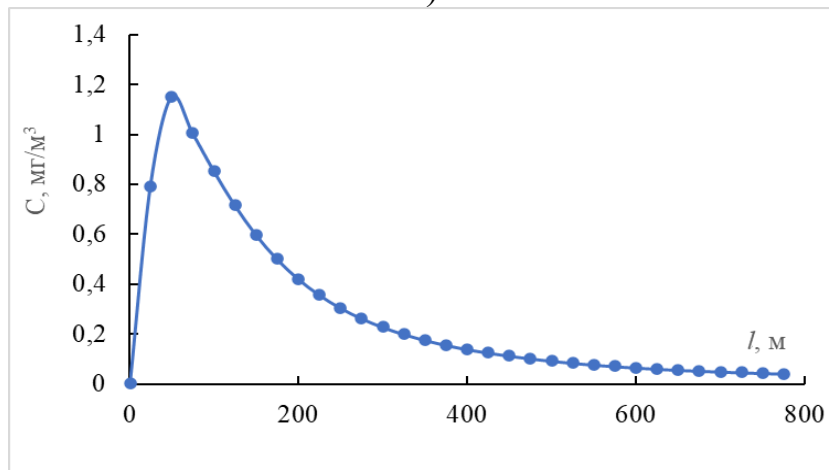
де r - безрозмірна величина, яка визначається за формулою (15):

$$r = \frac{3(u/u_M)}{2 \cdot (u/u_M)^2 - u/u_M + 2} \quad \text{при} \quad u/u_M > 1 \tag{15}$$

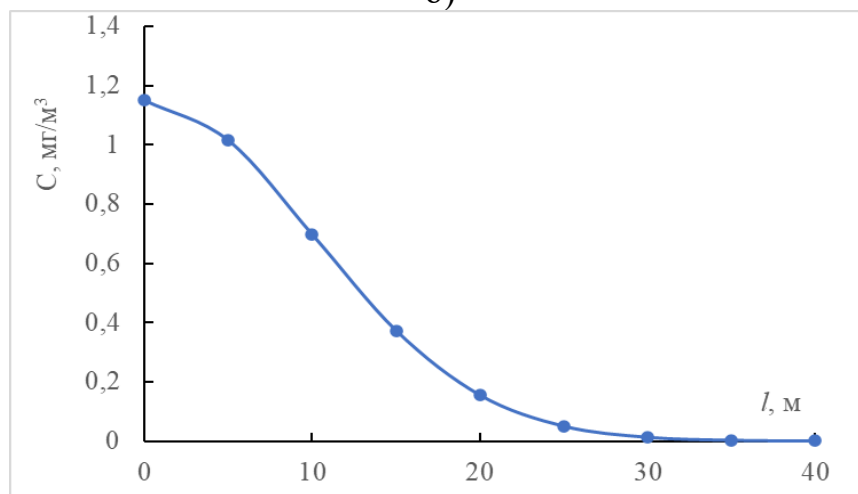
$r = 0,57$, тоді $c_{M,u} = 0,26 \text{ мг/м}^3$.



а)



б)



в)

Рисунок 1. Профілі розсіювання озону
а) загальне уявлення; б) уздовж осі OX; в) уздовж осі OY.

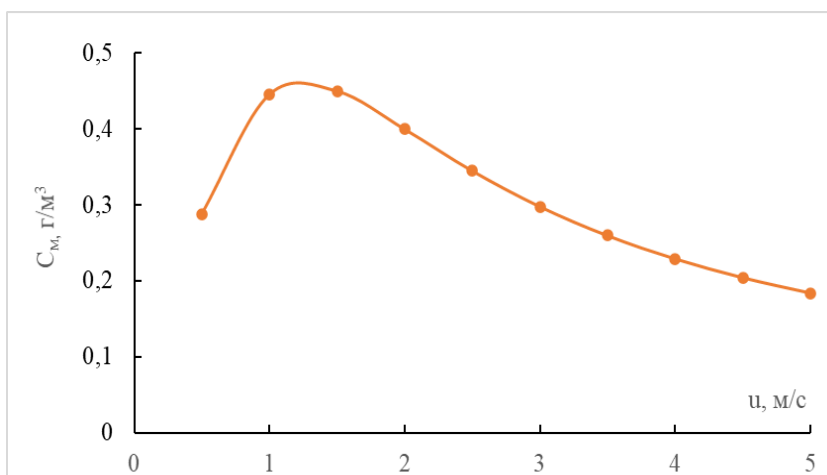


Рисунок 2. Залежність максимальної приземної концентрації озону від швидкості вітру

Залежність максимальної приземної концентрації озону від швидкості вітру (рис.1) має екстремальний характер; значення c_m зі збільшенням швидкості вітру вище 1,25 м/с до 5 м/с знижуються вдвічі, при цьому відстані розсіювання зростають 2 км і вище.

Висновки.

Проведено моделювання процесів розсіювання озону очисною спорудою на міських територіях. Для одиночного джерела викидів озону були розраховані максимальна розрахункова концентрація, яка передбачається для випадків, коли очікується небезпечна швидкість вітру в нижньому шарі атмосфери. Значення максимальної приземної концентрації озону мають екстремальний характер та зі збільшенням швидкості вітру вище знижуються, при цьому відстані розсіювання зростають до 2 км і вище.

Отримані профілі розсіювання озону дають можливість оптимально визначити раціональний та економічно найвигідніший комплекс заходів, що забезпечує необхідну чистоту повітряного басейну, встановити вимірювання характеристик викиду, поля концентрацій.

Література:

1. Bhargava, A. (2016). Wet Scrubbers – Design of Spray Tower to Control Air Pollutants. *International Journal of Environmental Planning and Development*, 2(1), 68-73.
2. Скрубберы - аппараты для очистки газов. <https://mrc.org.ua/sistemy-ochistki-gaza/216-skrubber-dlya-ochistki-gazov>
3. Harry-Ngei N., Ubong I., Ede P. N. A (2019). Review of the Scrubber as a Tool for the Control of flue Gas Emissions in a Combustion System. *European Journal of Engineering and Technology Research*, Vol 4 No 11. <https://doi.org/10.24018/ejers.2019.4.11.1561>
4. Пристрій для мокрої очистки забрудненого повітря урбанізованих територій. Деклараційний патент на корисну модель № 147495, кл. B01D 53/00, B01D 53/78 (2006.01), B01J 19/24 (2006. 1) – №u202008025; заявл. 15.12.2020;



опубл.12.05.2021, бюл. № 19/2021. ДЪОМИН М.М., Білошицький М.В.

5. WHO Air Quality Guidelines for Europe Air quality guidelines. Global update 2005. Particulate matter, ozone, nitrogen dioxide and sulfur dioxide. https://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0005/78638/E90038.pdf

6. Khoroshun, A. V. Chernykh, A. Ya., Tatarchenko G.O., Bekshaev, A. A. Akhmerov. (2018). Laguerre-Gaussian beam transformations by the double-phase-ramp converter: Singular skeleton formation and its sensitivity to small misalignment Proceeding of SPIE, 10612, 1-9 USA A. N.

7. Gaussian determinantal processes: A new model for directionality in data Subhroshekar Ghosh, Philippe Rigollet Proceedings of the National Academy of Sciences Jun 2020, 117 (24) 13207-13213; DOI: 10.1073/pnas.1917151117.

8. Metodika rascheta koncentracij v atmosfernom vozduhe vrednyhveshchestv, soderzhashchihsya v vybrosah predpriyatij, OND-86. Goskomgidromet. –L.: Gidrometeoizdat, – 94 s.

***Abstract.** Modeling of the processes of ozone dispersion by a treatment plant in urban areas was carried out. For a single source of ozone emissions, the maximum concentration was calculated to be expected when dangerous wind speeds are expected in the lower atmosphere. The values of the maximum surface ozone concentration are extreme and decrease with increasing wind speed, while scattering distances increase to 2 km and more. The obtained profiles of ozone dispersion allow optimally determining the most rational and economically most advantageous set of measures that provide the necessary cleanliness of the air basin, establish the measurement of emission characteristics, concentration fields.*

***Key words:** modeling, distribution, ozone, urban areas, atmosphere.*

Статья отправлена: 19.01.2022 г.

© Татарченко Г.О.