

## ПЕРЕДУМОВИ ПОБУДОВИ МОДЕЛІ ІМОВІРНІСНОГО РОЗПОДІЛУ ЗАБРУДНЮЮЧИХ РЕЧОВИН В АТМОСФЕРІ

**Д. Л. Пляцук**

Сумський державний університет

вул. Римського-Корсакова, 2, м. Суми, 40007, Україна. E-mail: info@ecolog.sumdu.edu.ua

**В. М. Шмандій**

Кременчуцький національний університет ім. Михайла Остроградського

вул. Першотравнева, 20, м. Кременчук, 39600, Україна. E-mail: ecol@kdu.edu.ua

Важливою складовою екологічного моніторингу стану довкілля поряд із спостереженням за рівнем забруднення атмосфери і викидами поллютантів є моделювання поведінки забруднюючих речовин при комплексній дії на них різних факторів. У статті було здійснено аналіз факторів, що впливають на розсіювання домішок поллютантів в атмосфері, і які повинні враховуватись при моделюванні розповсюдження забруднюючих речовин, оцінці впливу промислових підприємств на довкілля, і при розрахунках ризиків. Зокрема проаналізовано екологічні критерії якості повітря, визначено зв'язок між категоріями стійкості атмосфери і характеристиками турбулентного перенесення поллютантів в атмосфері та зроблено математичний опис розподілу концентрації домішок від точкового джерела з постійною потужністю.

**Ключові слова:** атмосфера, модель, поллютанти, оцінка.

## ПРЕДПОСЫЛКИ ПОСТРОЕНИЯ МОДЕЛИ ВЕРОЯТНОСТНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ В АТМОСФЕРЕ

**Д.Л. Пляцук**

Сумской государственной университет

ул. Римского-Корсакова, 2, г. Сумы, 40007, Украина. E-mail: info@ecolog.sumdu.edu.ua

**В.М. Шмандий**

Кременчугский национальный университет им. Михаила Остроградского

ул. Первомайская, 20, г. Кременчуг, 39600, Украина. E-mail: ecol@kdu.edu.ua

Важной составляющей экологического мониторинга состояния окружающей среды наряду с наблюдением за уровнем загрязнения атмосферы и выбросами поллютантов является моделирование поведения загрязняющих веществ при комплексном воздействии на них различных факторов. В статье был осуществлен анализ факторов, влияющих на рассеивание примесей поллютантов в атмосфере, и которые должны учитываться при моделировании распространения загрязняющих веществ, оценке воздействия промышленных предприятий на окружающую среду, и при расчетах рисков. В частности проанализированы экологические критерии качества воздуха, определена связь между категориями устойчивости атмосферы и характеристиками турбулентного переноса поллютантов в атмосфере и сделано математическое описание распределения концентрации примесей от точечного источника с постоянной мощностью.

**Ключевые слова:** атмосфера, модель, поллютанты, оценка.

**АКТУАЛЬНІСТЬ РОБОТИ.** Для забезпечення достовірності оцінки техногенного навантаження на екосистему, необхідно враховувати дані, що найбільш повно відбивають стан урбанізованої території в певний, конкретний проміжок часу. При цьому істотний вплив на міру забруднення довкілля, а, отже, стан екосистеми і показники здоров'я населення, роблять як кількісні, так і якісні характеристики забруднюючих речовин. Процес розповсюдження поллютантів в атмосфері відбувається внаслідок адекватного переносу повітряними масами та дифузії, що обумовлена виникненням численних нелінійних фрактальних повітряних пульсацій, для розрахунку яких використовують моделі турбулентності.

В цілому усі домішки поступово осаджуються на земну поверхню, важкі осаджуються за рахунок гравітаційних сил, а легкі – в результаті дії дифузійних процесів. Крім того можливе сухе та вологе осадження забруднюючих речовин в атмосфері[1-5].

Характеристики поллютантів, а також їх просторово-часовий розподіл визначатиметься,

передусім, специфікою об'єктів промислової інфраструктури, що є джерелами викидів. Так, головною особливістю стаціонарних джерел забруднення є те, що їх викиди в атмосферу відбуваються на великій висоті. У зв'язку з цим, викиди забруднюючих речовин від таких джерел можуть поширюватися на великі відстані і охоплювати значні території - залежно від висоти. Накладаючись один на одного, ці зони можуть утворювати області стійких забруднень в промислових районах міст. Існуючі моделі поширення забруднюючих речовин є або напівемпіричними залежностями, справедливими лише для конкретних ситуацій і компонувань забудови, які передбачалися при постановці експерименту, або використовують апарат математичної статистики для обробки натурних вимірів. Крім того, важливе значення відіграє в теорії поширення в атмосфері різноманітних поллютантів флуктуації швидкості та напрямку вітру за довгостроковий період.

Все вищенаведене підтверджує необхідність врахування комплексу факторів при моделюванні

Розробка та експлуатація систем екологічного моніторингу

розповсюдження забруднюючих речовин в атмосфері. На рис.1 зображена варіація можливих властивостей домінуючих повітряних фаз, які

носять випадковий характер і впливають на процес перенесення забруднюючих речовин в атмосфері.

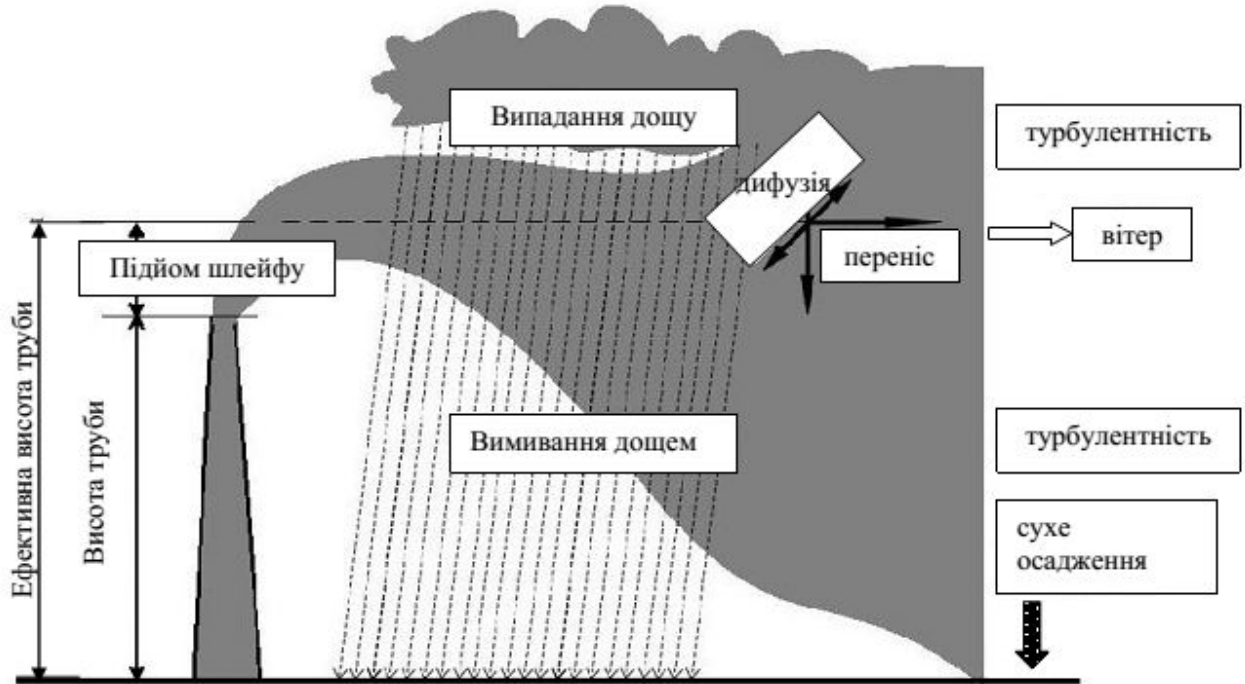


Рисунок 1 – Поведінка забруднюючих речовин в атмосфері

*Мета роботи* – виконати моделювання розповсюдження поллютантів в атмосфері з врахуванням комплексу факторів. Відповідно до поставленої мети були сформовані завдання:

- проаналізувати екологічні критерії якості повітря;
- визначити зв'язок між категоріями стійкості атмосфери і характеристиками турбулентного перенесення поллютантів в атмосфері;
- зробити математичний опис розподілу концентрації поллютантів від точкового джерела з постійною потужністю.

**МАТЕРІАЛИ І МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ.**

Екологічним критерієм якості повітря поза санітарно-захисною зоною є рівень концентрації менший за ГДК<sub>сд</sub> для населених місць і максимально разовий рівень концентрацій менше ГДК<sub>мр</sub> для населених місць. Ці рівні концентрації вимірюються за період усереднювання 20-30 хвилин. Наукове розуміння величини ГДК<sub>мр</sub> включає допустиму ймовірність (частоту) його безпечних для реципієнта перевищень. Рівень цих перевищень не повинен виходити за рамки логнормального розподілу, якому підкоряється розподіл концентрацій :

$$\ln C_n > \ln C_{cp} + f(P, \sigma), \quad (1)$$

де:  $C_n$  – порогова концентрація;  
 $C_{cp}$  – середнє арифметичне;

$P$  – ймовірність перевищення деякого порогового рівня;

$\sigma$  – дисперсія розподілу.

Функція  $f(P, \sigma)$  зростає у міру зменшення  $P$ . Тому в неявній формі це розуміння ГДК<sub>мр</sub> знайшло підтвердження в керівних документах, що визнають стан атмосфери благополучним, якщо фон (5% перевищення) рівний ГДК<sub>мр</sub>. Ця величина зв'язується з відношенням максимально разової і середньодобової ГДК. Так для сірчистого ангідриду (SO<sub>2</sub>) частота перевищення, що дозволяється, може складати - 1% (86 годин/рік); для діоксиду азоту і оксиду вуглецю (CO) – 10% (860 годин/рік).

Для подальших розрахунків в якості ступеню негативного техногенного впливу визначимо перевищення концентрації забрудників ГДК<sub>мр</sub>, а в якості критерію якості повітряного басейну частоту цього перевищення на рівні 5%.

Таким чином, завдання характеристики якості атмосферного повітря зводиться до побудови ймовірнісного поля перевищення ГДК<sub>мр</sub> в регіоні розміщення об'єкту промислової інфраструктури.

Для вирішення цього завдання розрахуємо для кожного з характерних джерел викидів поля розподілу концентрацій в навколишньому середовищі з урахуванням різних метеорологічних умов та впливу регіональної специфіки (висота шару перемішування, характеристика шорсткості поверхні і забудови території). Для кожного з варіантів, що розраховуються, критерієм зони техногенного навантаження є перевищення

**Розробка та експлуатація систем екологічного моніторингу**

концентрації ЗР її максимально разової ГДК для населених місць. Після цього на наступному етапі необхідно отримати розподіл (поле) ймовірності спостереження цього явища в різних точках на території навколо джерела.

Зона негативного впливу в цій постановці визначається геометричною формою зони перевищення концентрацій вище ГДК<sub>мр</sub> і описуватиме сукупність точок, для яких концентрація С вище ГДК<sub>мр</sub>.

Оскільки форма зони залежить від параметрів довкілля, необхідно враховувати увесь спектр її можливих станів в межах характерного періоду їх змін(у розрізі року або конкретного сезону - літо, зима).

Для побудови моделі необхідно розглянути особливості і закономірності розсіювання забруднюючих речовин в атмосфері. Вирішенню проблеми турбулентного перенесення і розсіювання різних домішок в атмосфері присвячено значне число як фундаментальних, так і прикладних досліджень [6-13]. Тому нашою метою є акцентування уваги тільки на тих її аспектах, які мають виражений методичний характер і безпосередньо впливають на достовірність побудови полів розсіювання і розрахунок показників техногенного навантаження.

Розміри зони екологічної небезпеки при викидах забруднюючих речовин залежать як від потужності викиду, так і від характеристик атмосферного перенесення, передусім від швидкості вітру і від категорії (класу) стійкості(стабільності) атмосфери. Категорії розрізняються в основному інтенсивністю вертикального перемішування повітря.

Найбільш нестійка категорія "А" відзначається при слабкому вітрі і сильній сонячній радіації, коли

повітря, нагріте теплом від земної поверхні, сливає. Зазвичай цей стан виникає пополудні або дещо раніше. Категорія "С" спостерігається при посиленні вітру від помірного до сильного і частіше всього ввечері при ясному небі або вдень при низьких купчастих хмарах, а також літніми ясними днями при висоті сонця 15-30°. Нейтральна категорія "D" відповідає умовам суцільної хмарності як вдень, так і вночі, коли вплив прямих сонячних променів незначний. Стійкі категорії "Е" і "F" фіксують зазвичай вночі при чистому небі або слабкій хмарності, коли земна поверхня вихолоджується і над нею встановлюється інверсійний шар. Природна конвекція при цьому пригнічується.

Стабільність підвищується із зростанням швидкості вітру і зниженням інтенсивності сонячного опромінення. Хмарність проявляється по-різному. Вночі її зниження посилює охолодження Землі, утворення температурної інверсії. Вдень, навпаки, конвективні потоки і нестабільність посилюються.

При побудові моделі ми скористалися простою класифікацією (Пасквіла) за вертикальним градієнтом температур.

Щодо урахування швидкості вітру, то відомо [14], що вона істотно змінюється з висотою. Статичну залежність запишемо у виді:

$$U(z) = U_0(z/z_0)^p, \quad (2)$$

де  $U_0$  – швидкість вітру на "стандартній" висоті  $z_0$  ( $z_0=10$  м).

Значення показника  $p$  також залежать від класу стійкості атмосфери і "шорсткості" поверхні  $A_0$  (табл. 1).

Таблиця 1 – Залежність параметра  $p$  від величини шорсткості поверхні для різних класів стійкості атмосфери

Категорія стабільності атмосфери	Параметр шорсткості $A_0$ , м			
	0,01	0,1	1	3
A	0,05	0,08	0,17	0,27
B	0,06	0,09	0,17	0,28
C	0,06	0,11	0,20	0,31
D	0,12	0,16	0,27	0,37
E	0,34	0,32	0,38	0,47
F	0,53	0,54	0,61	0,69

І, нарешті, розглянемо зв'язок між категоріями стійкості атмосфери і характеристиками турбулентного перенесення і масштабами перенесення домішки. Проведемо аналіз для простого випадку перенесення "нейтральної" домішки від точкового джерела постійної потужності  $G_0$ . Тоді розподіл концентрації домішки на осі сліду ( $y=0$ ) на поверхні землі ( $z=0$ ) рівний:

$$C(x,0,0) \approx \frac{G_0}{2\pi \cdot U \cdot \sigma_y(x) \cdot \sigma_z(x)}, \quad (3)$$

Коефіцієнти дисперсії в горизонтальному і вертикальному напрямі  $\sigma_y$  і  $\sigma_z$  вичислимо за емпіричними співвідношеннями. Скористаємося номограмами "Гіфорда-Пасквіла" [13], складеними за спостереженнями концентрації на рівнинній місцевості (рис. 2).

Криві, представлені на рис. 1, можуть бути апроксимовані формулою:

$$\sigma_i = \exp[a_i + b_i \ln x + c_i (\ln x)^2], \quad (4)$$

Розробка та експлуатація систем екологічного моніторингу

де  $x$  - відстань, м ( $10^2 \leq x \leq 10^4$ );  $i=y; z$ .

Коефіцієнти апроксимації  $a_i$ ,  $b_i$  та  $c_i$  наведено в таблиці 2.

Для нестабільної атмосфери в міській місцевості коефіцієнти  $a_y$  вище відповідних коефіцієнтів для

рівнинної місцевості без урахування забудови приблизний до 5 км, але потім істотно знижуються. З урахуванням стабільності (для категорії "D") позиція перевищення міських коефіцієнтів збільшується до 40 км. Розбіжності коефіцієнтів  $a_z$  ще істотніші (див. рис. 2).

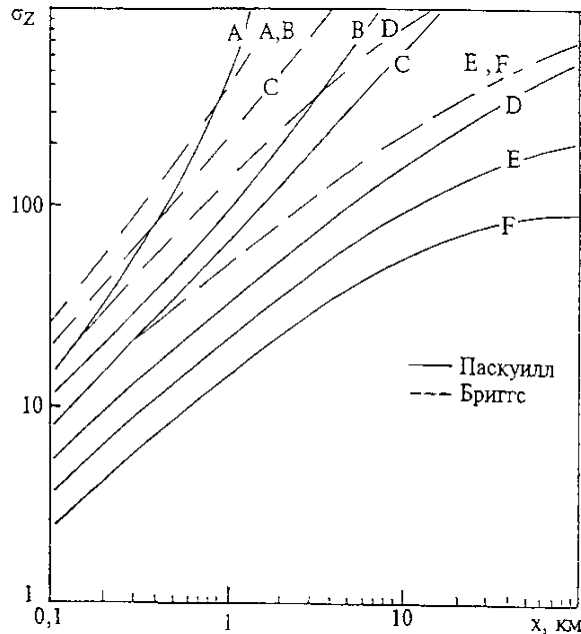


Рисунок 2 – Зміна дисперсійного коефіцієнта  $\sigma_z$  з відстанню за вітром

Таблиця 2 – Константи формул, що апроксимують криві Гіфорда-Пасквіла (за Тернером)

Константи	Категорія стабільності атмосфери					
	A	B	C	D	E	F
$a_y$	-1,104	-1,634	-2,054	-2,555	-2,754	-3,143
$b_y$	0,9878	1,0350	1,0231	1,0423	1,0106	1,0148
$c_y$	-0,0076	-0,0096	-0,0076	-0,0087	-0,0064	-0,0070
$a_z$	4,679	-1,999	-2,341	-3,186	-3,783	-4,490
$b_z$	-1,7172	0,8752	0,9477	1,1737	1,3010	1,4024
$c_z$	0,2770	0,0136	-0,0020	-0,03116	-0,0450	-0,0540

Представлені вище дані про зміни і кореляції між основними параметрами атмосферного перенесення свідчать про необхідність побудови гранично чітких логічних схем різних варіантів (результатів) поширення забруднюючих речовин в атмосфері, побудованих за принципом "дерева подій". Очевидно також, що по цілому ряду характеристик (шорсткість денної поверхні, функції розподілу швидкості вітру і класів стабільності атмосфери в розрізі року та ін.)

"функції перенесення" безпосередньо пов'язані і з "функцією джерела"(тиск насиченої пари, температура повітря і поверхні ґрунту та ін.) тобто з потужністю викиду.

Для прогнозу розподілу концентрацій полутанта навколо джерела використовуємо просту модель Гауса турбулентної дифузії.

Математичне вираження для концентрації речовини від точкового джерела з постійною потужністю -  $Q$ (г/с) записується у виді:

$$C(x, y, z, t) = \frac{f(A)Q}{(2\pi)^{3/2} \sigma_x \sigma_y \sigma_z} \exp\left(-\frac{y^2}{2\sigma_y^2}\right) \left[ \exp\left(-\frac{(z-H)^2}{2\sigma_z^2}\right) + \exp\left(-\frac{(z+H)^2}{2\sigma_z^2}\right) \right], \quad (5)$$

де  $Q$  – потужність джерела(г/с);  $\sigma_y$ ,  $\sigma_z$  - дисперсійні параметри, залежні від стійкості атмосфери і відстані від джерела « $x$ »(м);

$U$  – швидкість вітру м/с ;

$H$  - висота джерела(м);

$x, y, z$  – осьова, поперечна і вертикальна координати;

**Розробка та експлуатація систем екологічного моніторингу**

$f(A)$  – вміст домішки в шарі перемішування ("А"  
– висота шару перемішування).

Коригуємо цю залежність стосовно реальних умов викиду з концентрацією  $C_0$  введенням поняття віртуального джерела. В цьому випадку обчислюємо  $x_0$  так, щоб в точці ( $x=0, y=0, z=H$ ) дотримувалася рівність:

$$C_0 = \frac{f(A) \cdot Q}{2\pi \cdot U \cdot \sigma_y(x_0) \cdot \sigma_z(x_0)}, \quad (6)$$

При подальших розрахунках параметри дисперсії коригуємо з урахуванням значення  $x_0$ , тобто  $\sigma_y = \sigma_y(x+x_0)$ ;  $\sigma_z = \sigma_z(x+x_0)$ .

**ВИСНОВОК.** В рамках оперативного екологічного прогнозування проводиться прогнозування концентрацій поллютантів при різних метеоумовах на відстанях, що відповідають утворенню цих концентрацій (за результатами обчислювального експерименту). Відповідно в цій роботі було проаналізовано екологічні критерії стану повітряного басейну та знайдено взаємозв'язок між категоріями стійкості атмосфери і характеристиками турбулентного перенесення домішок в атмосфері. Для математичного описання розподілу концентрації домішок навколо джерела була використана проста модель Гауса турбулентної дифузії. Таким чином, розглянуті фактори дозволяють розробити математичну модель розповсюдження забруднюючих речовин як для прогнозування можливих концентрацій поллютантів, так і для розрахункового визначення концентрацій у даний момент часу.

**ЛІТЕРАТУРА**

1. Айдосов А.А. Моделирование загрязнения атмосферы выбросами с учетом высоты устья источников и влияния застройки промышленных объектов / А.А. Айдосов, Г.А. Айдосов, Н.Т. Данае [и др.] // International Journal of Experimental Education. – 2013. - №11. – Ч.3 – С.236-239.

2. Безуглова Н.Н. Численное моделирование загрязнения атмосферного воздуха и подстилающей поверхности в решении воздухоохраных задач промышленного района / Н.Н. Безуглова, Ю.А. Суковатов, К.Ю. Суковатов, И.А. Сугоихин // Ползуновский вестник. – 2005. - №4. – С. 122-124.

3. Бойко В.В. Аналіз методів математичного моделювання розповсюдження забруднюючих речовин в атмосфері / В.В. Бойко, Л.Д. Пяцук //

Вісник КДПУ ім. М. Остроградського. – 2010. - № 6 (65). – Ч.1. – С. 152 -156.

4. Application of mathematical models to simulate an extreme air pollution episode in the Bulgarian city of Stara Zagora / M. Prodanova, J. L. Perez, D. Syrakov, R. San Jose [et al.] // Applied Mathematical Modelling. – 2008. – Vol. 32. - Issue 8. - P.1607–1619.

5. Air pollution dispersion modeling in a polluted industrial area of complex terrain from Romania / G. Grigoras, V. Cuculean, G. Ene, G. Mocioaca [et al.] // Romanian Reports in Physics. – 2012. - Vol. 64. - No. 1. - P. 173–186.

6. Вараксин А.Ю. Турбулентные течения газа с твердыми частицами / Вараксин А.Ю. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2003. – 192 с.

7. Rogers C.B. The behavior of small particles in a vertical turbulent boundary layer in air / C.B. Rogers, J.K. Eaton // Int. J. Multiphase Flow. – 1990. – V.16. - №5. – P. 819 – 834.

8. Згуровский М.З. Численное моделирование распространения загрязнения в окружающей среде / Згуровский М.З. – К.: Наук.думка, 1997. – 368 с.

9. Берлянд М.Е. Прогноз и регулирование загрязнения атмосферы. / М.Е. Берлянд. – Л.: Гидрометеоздат, 1985. – 273 с.

10. Беляев Н.Н. Моделирование процесса рассеивания токсичного газа в условиях застройки. / Н.Н. Беляев // Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В.Лазаряна. – 2009. – вип. 29. – С. 83 – 85.

11. Hanna S. Air Quality Modelling over Short Distances / S. Hanna // College on Atmospheric Boundary Layer and Air Pollution Modelling, 1994. - № SMR/760-2.– P. 712 – 743.

12. Бабков В.С. Анализ математических моделей распространения примесей от точечных источников. / В.С. Бабков, Т.Ю. Ткаченко // Наукові праці ДонНТУ. – 2011. – вип. 13(185). – С. 147 – 155.

13. Корганбаев Б.Н. Расчет суммарных значений факторов окружающей среды, воздействующих на организм человека // Гидрометеорология и экология. – 2005. № 4. – С. 178-186

14. Пляцук Л.Д. Оцінка впливу поля вітру та коефіцієнтів турбулентності при моделюванні розповсюдження викидів в атмосфері / Л.Д. Пляцук, В.В. Бойко // Вісник КДПУ ім. М. Остроградського. – 2011. - № 1 (66). – Ч.1. – С. 141 -144.

PREREQUISITES FOR THE MODEL DEVELOP OF THE ATMOSPHERIC POLLUTANTS  
PROBABILITY DISTRIBUTIONS

**D. Plyatsuk**

Sumy State University

vul. Rymnskogo-Korsakova 2, Sumy, 40007, Ukraine. E-mail: info@ecolog.sumdu.edu.ua

**V. Shmandiy**

Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskiy National University

vul. Pershotravneva, 20, Kremenchuk, 39600, Ukraine. E-mail: ecol@kdu.edu.ua

The modeling of pollutants behavior is important component of environmental monitoring along with the observations of the air pollution level and pollutants emissions. The simulation of air pollution should be included complex of factors. This paper has introduced the factors that affect the pollutant dispersion in the atmosphere. These factors should be considered in model of the pollutants spread and for assessment of the industrial plants impact on the environment and calculations of risk. The environmental air quality criterions were analyzed. The relationship between the categories of atmospheric stability and characteristics of pollutants turbulent transport in the atmosphere was defined. The mathematical expression for the concentration of a substance from a point source was formed. For the atmospheric dispersion of pollutants in speciation wind conditions, a mathematical model have been formulated which takes into account the level of atmospheric stability and wind speed. The Gaussian model of turbulent diffusion was used for forecast the distribution of pollutant concentrations around the source with constant power.

**Key words:** atmosphere, model, pollutants, assessment

REFERENCES

1. Ajdosov, A.A., Ajdosov, G.A., Danae, N.T. [et al.] (2013), "Modeling of air pollution emissions, taking into account the height of the mouth of the sources and the impact of industrial facilities construction", *International Journal of Experimental Education*, vol. 3, no 11 , pp. 236-239.
2. Bezuglova, N.N., Sukovatov, Y.A., Sukovatov, K.Y., Sutoihin, I.A. (2005), "Numerical modeling of air pollution and land surface air protection in solving problems of an industrial area", *Polzunovskiy vesnik*, no 4 , pp. 122-124.
3. Boyko, V.V., Plyatsuk, L.D. (2010), "The analysis of mathematical modeling methods of pollutants in the atmosphere", *Scientific journal "Transactions of Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskiy National University"*, no 6 (65), part 1, pp. 152-156.
4. Prodanova, M., Perez, J. L., Syrakov, D., Jose, San R. [et al.] (2008), "Application of mathematical models to simulate an extreme air pollution episode in the Bulgarian city of Stara Zagora", *Applied Mathematical Modelling*, vol. 32, issue 8, pp. 1607-1619.
5. Grigoras, G., Cuculean, V., Ene, G., Mocioaca, G. [et al.] (2012), "Air pollution dispersion modeling in a polluted industrial area of complex terrain from Romania", *Romanian Reports in Physics*, vol. 64, no. 1, pp.173-186.
6. Varaksin, A.Y. (2003), *Turbulentnye techeniya gaza s tverdymi chastitsami* [Turbulent flow of gas and solid particles], FIZMATLIT, Moscow, Russia.
7. Rogers, C.B., Eaton, J.K. (1990), "The behavior of small particles in a vertical turbulent boundary layer in air", *Int. J.Multiphase Flow*, vol. 16, no.5, pp.819 – 834.
8. Zgurovsky, M.Z. (1997), *Chislennoe modelirovanie rasprostraneniya zagryazneniy v okruzhayuschey srede* [Numerical Simulation of pollution in the environment] Nauk.dumka, Kiyv, Ukraine.
9. Berlyand, M.E. (1985), *Prognozi regulirovanie zagryazneniy atmosfery* [Prediction and control of air pollution], Gidrometeoizdat, St. Petersburg, USSR.
10. Belyaev, N.N. (2009), "Modeling of the process of toxic gas dispersion in a building", *Visnik of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport*, no 29, pp. 83 - 85.
11. Hanna, S. (1994), "Air Quality Modelling over Short Distances", *College on Atmospheric Boundary Layer and Air Pollution Modelling*, no SMR/760-2, pp.712 – 743.
12. Babkov, V.S., Tkachenko, T.Y.(2011), "Analysis of mathematical models of the pollutants spread from point sources", *Naukovi pratsi Donetsk National Technical University*, no 13 (185), pp. 147 - 155.
13. Korganbaev, B.N.(2005), "Calculation of total values of environmental factors that affect the human body", *Hydrometeorology and ecology*, no 4, pp.178-186.
14. Plyatsuk, L.D., Boyko, V.V.(2011), "Assessing the impact of wind field and turbulence coefficients in modeling distribution of emissions in the atmosphere", *Scientific journal "Transactions of Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskiy National University"*, no 1 (66), part 1, pp. 141 -144.