

М.Ю. Лесів¹, Р.А. Бунь, д-р техн. наук, професор^{1,2}, М.П. Сорочич³
 (¹Національний університет "Львівська політехніка"
²Академія бізнесу в Домброві Гурнічій, Польща
³Львівський державний університет безпеки життєдіяльності)

ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ПРОСТОРОВОГО АНАЛІЗУ ПРОЦЕСІВ ПЕРЕМІЩЕННЯ ЗАКИСУ АЗОТУ ЧЕРЕЗ ЛІНІЮ КОРДОНУ

Просторово-розподілений аналіз емісій парникових газів (ПГ) для різних секторів людської діяльності на регіональному рівні є важливим та цінним для створення нових ефективних природоохоронних інструментів, вивчення шляхів зменшення емісій та невизначеностей інвентаризації ПГ. В статті представлено математичні моделі процесів емісії, які враховують процеси атмосферної дифузії та вітру. Розроблено геоінформаційні технології та методи для здійснення просторового аналізу емісій парникових газів в прикордонних регіонах. Створено програмний засіб для числового моделювання процесів переносу оксиду азоту через лінію кордону. Просторовий аналіз емісій закису азоту здійснено для українсько-польської прикордонної смуги.

Ключові слова: математичне моделювання, геоінформаційна технологія, інвентаризація парникових газів, енергетичний сектор, закис азоту.

Вступ. Для виконання екологічних та економічних міжнародних зобов'язань щодо зменшення та моніторингу емісій парникових газів (ПГ) дуже важливо мати повну інформацію про емісії в країні. Просторово-розподілений аналіз емісій ПГ від різних секторів людської діяльності на регіональному рівні є важливим та цінним для створення нових ефективних природоохоронних інструментів, вивчення шляхів зменшення викидів та невизначеностей процесів інвентаризації ПГ. Існуючі математичні моделі для просторового аналізу емісій ПГ не враховують процеси атмосферної дифузії та вітру. Тому існує потреба в розробленні моделей, які б враховували ці два фактори.

Метою цих досліджень було опрацювання математичних моделей процесів емісії закису азоту в енергетичному секторі західних регіонів України з врахуванням переміщення атмосферних мас, а точніше – моделей, які б давали можливість обчислити масу закису азоту, який перемістився через певну ділянку кордону.

Властивості закису азоту. Закис азоту – це забруднювач повітря, а також один з основних парникових газів, частка якого у спричиненні парникового ефекту в атмосфері становить близько 6%. За фізичними властивостями закис азоту важчий за повітря. Тобто, молекули цього газу можуть переміщуватись в повітрі або активно, тобто під впливом сили тяжіння і різниці концентрацій, або ж пасивно – під впливом вітру. У випадку безвітряної погоди домінують процеси дифузії, а при великих швидкостях вітру – пасивне переміщення.

Математичний апарат. Для визначення маси закису азоту, що перемістився через кордон, застосовано математичну модель, що описана нижче. Розглянуто два випадки: штиль та вітряна погода. При цьому використано такі дані:

- метеорологічні умови, у тому числі середньорічну розу вітрів;
- просторовий кадастр емісій закису азоту (маса в Гг, координати джерел емісій);
- цифрове представлення лінії кордону, який розбито на елементарні ділянки, та координати цих ділянок.

Маса газу, що перемістився через ділянку кордону, прямо пропорційна потужності джерела емісії. У дослідженні як джерела емісій використано викиди закису азоту в енергетичному секторі на рівні елементарних об'єктів досліджуваного регіону (прикордонної смуги України і Польщі), представлені з допомогою цифрової карти [1].

Лінію українсько-польського кордону було умовно розбито на елементарні ділянки. Для оцінювання маси закису азоту, що пройшов через кожен елементарну ділянку, зроблено такі припущення [3, 5]:

- маса забруднюючої речовини залишається в атмосфері: не втрачається через процеси поглинання, хімічні реакції, осідання під впливом сили тяжіння, турбулентності;
- наявні сталі метеорологічні умови: метеорологічні умови не змінюються за час перенесення речовини від джерела викиду до ділянки кордону;
- якщо на певній відстані від джерела емісії розташувати перпендикулярну до напрямку вітру площину, то розподіл маси перенесеної речовини описується кривою Гауса;
- маса речовини, що пройшла через ділянку, прямо пропорційна до концентрації цієї речовини у відповідній точці кордону;
- не враховуються нерівності земної поверхні.

Вітряна погода. Крива Гауса використовується для опису поперечного розподілу концентрації речовини у результаті дифузії і перенесення вітром. Припущено, що вісь x спрямована у напрямку вітру, а вісь y – впоперек напрямку вітру. Оскільки маса закису азоту, що проходить через ділянку кордону, прямо пропорційна до концентрації цього газу в атмосфері, то можна записати таку формулу:

$$\tilde{M}(x, y) = K_v * c(x, y), \quad (1)$$

де $\tilde{M}(x, y)$ – функція розподілу маси перенесеного газу в поперечному перерізі, г/м; K_v – коефіцієнт, який залежить від об'єму повітря, що переноситься через кордон (див. далі), м²; $c(x, y)$ – концентрація газу, що переноситься, в приземному шарі поперечного перерізу, г/м³.

Концентрацію газу в поперечному перерізі (рис. 1) можна описати такою формулою [5]:

$$c(x, y) = \frac{2M_E}{(2\pi)^{3/2} \sigma_x \sigma_y \sigma_z} \exp\left(-\frac{y^2}{2\sigma_y^2}\right) \quad (2)$$

де M_E – загальна маса емітованого джерелом газу в г; σ_x – параметр, який описує зміну концентрації аналізованого газу в потоці по осі абсцис, м; σ_y – нормальне відхилення розподілу концентрації аналізованого газу в поперечному напрямку на відстані x від джерела, м; σ_z – нормальне відхилення розподілу концентрації аналізованого газу по вертикалі на відстані x від джерела, м.

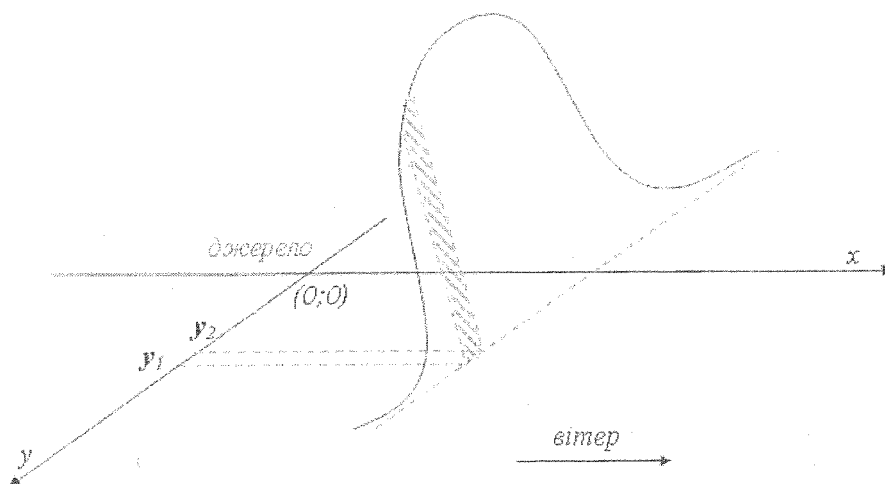


Рис. 1. Розподіл маси аналізованого газу перенесеного в поперечному перерізі атмосферного потоку

Параметри σ_y та σ_z обчислено в [5] на основі вимірів атмосферної турбулентності на рівнинній території. Було помічено, що коли погода стабільна, збільшується кількість вертикальних вихорів, а при великих температурах значно зростає турбулентність атмосфери. Експериментально отримано значення σ_y та σ_z для шести категорій стабільності атмосфери: *A* – сильна конвекція, *B* – конвекція, *C* – помірна конвекція, *D* – нейтральний стан, *E* – інверсія, *F* – сильна інверсія.

Якщо підставити вираз $s(x, y)$ з формули (2) у формулу (1), отримуємо:

$$\tilde{M}(x, y) = K_v * \frac{2M_E}{(2\pi)^{3/2} \sigma_x \sigma_y \sigma_z} \exp\left(-\frac{y^2}{2\sigma_y^2}\right) \quad (3)$$

Площа під кривою $M(x, y)$ (рис. 1) приймається рівною масі викиду M_E . Тоді дійсна така формула:

$$M_E = \int_{-\infty}^{\infty} \tilde{M}(x, y) dy$$

або

$$M_E = \int_{-\infty}^{\infty} K_v * \frac{2M_E}{(2\pi)^{3/2} \sigma_x \sigma_y \sigma_z} \exp\left(-\frac{y^2}{2\sigma_y^2}\right) dy. \quad (4)$$

З рівняння (4) виводимо вираз для K_v :

$$K_v = \pi \sigma_x \sigma_z.$$

Кінцева формула для функції розподілу маси аналізованого газу, перенесеного атмосферним потоком в поперечному перерізі, має вигляд:

$$\tilde{M}(x, y) = M_E * \frac{1}{\sqrt{2\pi} \cdot \sigma_y} \exp\left(-\frac{y^2}{2\sigma_y^2}\right)$$

Маса $M_{gas}(x, y_1, y_2)$ аналізованого газу, який перемістився через елементарну ділянку кордону, причому y_1 та y_2 – координати проєкцій кінців ділянки на вісь y , обчислюється за формулою (рис. 1):

$$M_{gas}(x, y_1, y_2) = \int_{y_1}^{y_2} M_E * \frac{1}{\sqrt{2\pi} \cdot \sigma_y} \exp\left(-\frac{y^2}{2\sigma_y^2}\right) dy. \quad (5)$$

Штиль. У випадку штилю розподіл маси емітованої речовини не можна представити у вигляді кривої Гауса. Тому зроблено припущення, що маса газу поширюється рівномірно у всіх напрямках.

Маса оксиду азоту, що проходить через елементарну ділянку кордону, прямо пропорційна до величини кута, утвореного двома променями, проведеними від джерела до кінців ділянки. Це проілюстровано на рис.2. Відповідно, за правилом косинусів, отримуємо формулу для обчислення маси перенесеної емітованої речовини:

$$M_{gas}^{calc}(a, b, c) = \frac{M_E}{2\pi} \cdot \arccos\left(\frac{a^2 + c^2 - b^2}{2ac}\right) \quad (6)$$

де M_{gas}^{calc} – маса перенесеної речовини за умов відсутності вітру, г; a, b – відстані від джерела емісії до кінців елементарної ділянки, м; c – довжина елементарної ділянки кордону, м.

Числові експерименти. Для здійснення числових експериментів використано дані про розу вітрів, яка показує повторюваність вітрів різних напрямків у відсотках за рік, а також цифрову карту території Західної України з інформацією про емісії закису азоту на рівні елементарних об'єктів [1].

На основі розробленого математичного апарату створено програмне забезпечення. За допомогою мови програмування MapBasic додано меню на панелі інструментів MapInfo, яке дає можливість „будувати” кордон у вигляді ламаної лінії, вирізати прикордонну смугу певної ширини та обчислювати емісію, через кожен ділянку кордону.

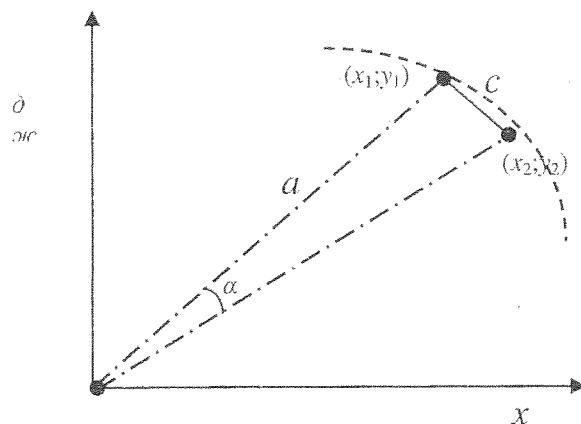


Рис.2. Ілюстрація переносу газу через елементарну ділянку кордону у випадку безвітряної погоди

Як результат, отримано цифрову карту з інформацією про атмосферні переміщення закису азоту через кордон на рівні елементарних ділянок. Обчислення показали, що тільки приблизно 21% загальної емісії закису азоту з української прикордонної смуги шириною 100 км перемістився через кордон України з Польщею. Найбільша маса газу перемістилася через кордон зі сторони Яворівського району Львівської області. На рис. 3 проілюстровано розподіл маси закису азоту, що перемістився через кордон України з Польщею (на основі статистичних даних про результати господарської діяльності за 2007 рік).

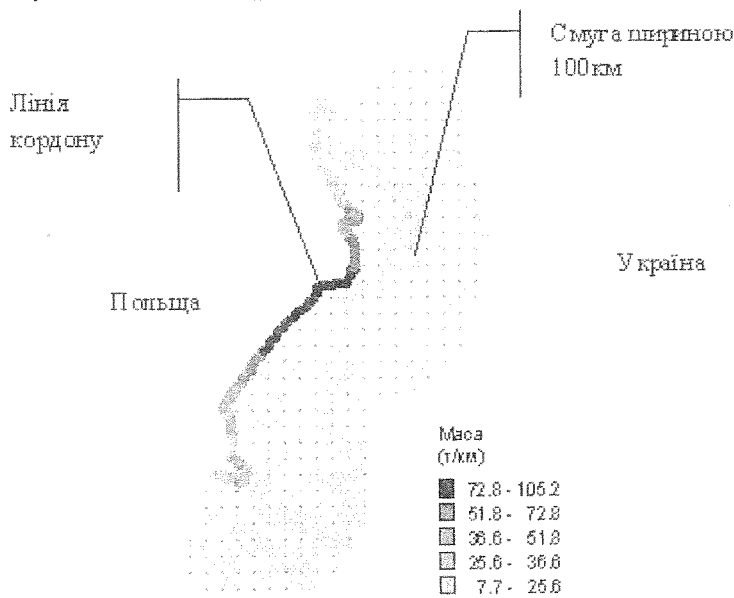


Рис. 3. Розподіл маси закису азоту, який перемістився через українсько-польський кордон

Висновки. Розроблена математична модель та створена на її основі геоінформаційна технологія, які враховують метеорологічні умови, дають можливість оцінювати масу парникових газів, що перемістився через лінію кордону. Обчислення маси закису азоту, які отри-

мано для українсько-польської прикордонної смуги (з української сторони) шириною 100 км показали, що приблизно 21 % емісій закису азоту переміщується через лінію кордону. Аналогічні дослідження можна провести і для польської сторони.

Розроблений метод та геоінформаційна технологія можуть бути використаними для оцінювання переміщення через кордон інших газів, зокрема забруднюючих речовин, які за своїми фізичними властивостями схожі з діоксидом вуглецю чи закисом азоту.

Список літератури:

1. **Гамаль Х.** Геоінформаційна технологія для просторового аналізу парникових газів в енергетичному секторі : дис.канд. н.: 05.13.06 / Гамаль Христина. – Львів : Національний університет «Львівська політехніка», 2009. – 246 с.

2. **Chowa F.K.** Modeling the effects of topography and wind on atmospheric dispersion of CO₂ surface leakage at geologic carbon sequestration / Fotini K. Chowa, Patrick W. Granvolda, Curtis M. Oldenburg // Greenhouse Gas Control Technologies 9 (GHGT-9), Energy Procedia. – University of California: Berkeley Published by Elsevier Ltd., 2009. – Vol. 1, Issue 1. – P. 1925-1932.

3. Good practice guide for atmospheric dispersion modelling / Prepared by the National Institute of Water and Atmospheric Research, Aurora Pacific Limited and Earth Tech Incorporated for the Ministry for the Environment. – Ministry for the Environment, 2004. – 142 p.

4. Markiewicz M. Mathematical modelling of heavy gas dispersion / M. Markiewicz / Models and techniques for health and environmental hazards assessment and management. Part 2 – Air Quality Modelling. – Institute of Atomic Energy, Otwock-Swierk, Poland, 2006. – P. 281-299.

5. **Turner D.B.** Workbook of atmospheric dispersion estimates: an introduction to dispersion modelling / D. Bruce Turner. – Boca Raton, Florida, USA: CRC Press, 1994. – 194 p.

М.Ю. Лесив¹, Р.А. Бунь, д-р техн. наук, профессор^{1,2}, М.Ф. Сорочич³
(¹Національний університет "Львівська політехніка"

²Академія бізнесу в Домброве Гурничей, Польща

³Львівський державний університет безпеки життєдіяльності)

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРОСТРАНСТВЕННОГО АНАЛИЗА ПЕРЕМЕЩЕНИЯ ПЕРЕНОСА ЗАКИСИ АЗОТА ЧЕРЕЗ ЛИНИЮ ГРАНИЦЫ

Пространственно-распределенный анализ эмиссий парниковых газов (ПГ) для различных секторов хозяйственной деятельности на региональном уровне является важным и ценным для создания новых эффективных природоохранных инструментов, изучения путей уменьшения эмиссий и неопределенностей инвентаризаций ПГ. В статье представлены математические модели процессов эмиссии ПГ, которые учитывают атмосферную диффузию и ветер. Разработана геоинформационная технология и методы для осуществления пространственного анализа эмиссий парниковых газов в приграничных регионах. Создано программное средство для численного моделирования процессов переноса закиси азота через линию границы. Пространственный анализ эмиссий закиси азота осуществлен для украинско-польской пограничной полосы.

Ключевые слова: математическое моделирование, геоинформационная технология, инвентаризация парниковых газов, энергетический сектор, закись азота.

M.Yu. Lesiv¹, R.A. Bun, Doctor of Sciences (Engineering), Professor^{1,2}, M.P. Sorochych³
(¹Lviv Polytechnic National University
²Academy of Business in Dąbrowa Górnicza, Poland
³Lviv State University of Vital Activity Safety)

INFORMATION TECHNOLOGIES OF SPATIAL ANALYSIS OF TRANSPORT PROCESSES OF NITROUS OXIDE THROUGH BORDER LINE

Spatial analysis of greenhouse gas (GHG) emissions from human activities on regional level is very important to create new effective nature protection tools and to study ways to reduce GHG emissions and their uncertainties. The mathematical models of emission processes that would take into account the atmospheric diffusion and wind have been presented in this article. The geoinformation technology and methods of spatial analysis of emissions in the border regions have been developed. The GIS based software has been created for estimating mass of nitrous oxide (N₂O) emissions that goes through border line. Spatial analysis of nitrous oxide transport processes has been done for Ukrainian – Polish border zone in consideration with wind rose.

Key words: mathematical modeling, geoinformation technology, greenhouse gas inventory, energy sector, nitrous oxide.

