

Р.А. Бунь, д-р техн. наук, професор^{1,2}; О.Б. Яремчишин¹, Г.О. Драналюк¹
(¹Національний університет "Львівська політехніка"
²Академія бізнесу в Домброві Гурнічій, Польща)

МЕТОДИКА ПОБУДОВИ КАДАСТРУ ЕМІСІЙ ПАРНИКОВИХ ГАЗІВ У ПРОМИСЛОВОМУ СЕКТОРІ: ВИРОБНИЦТВО ВАПНА В ЗАКАРПАТСЬКІЙ ОБЛАСТІ

Розроблено математичну модель та спеціалізовану комп'ютерну програму для територіальної інвентаризації та аналізу емісій парникових газів (вуглекислого газу, метану, закису азоту) у промисловому секторі. Модель базується на методиках інвентаризації Міжурядової групи експертів зі зміни клімату і враховує розміщення основних джерел емісій. Як приклад, на основі статистичних даних побудовано територіальний кадастр емісій вуглекислого газу від виробництва вапна у Закарпатській області. Дослідження емісійних процесів проведено для елементарних ділянок розміром 2×2 км.

Ключові слова: парникові гази, промисловий сектор, математична модель, комп'ютерна програма, кадастр емісій, виробництво вапна, Закарпатська область.

Вступ. Останні півстоліття спостерігається тенденція посилення парникового ефекту, що має загальнопланетарний характер. На думку багатьох вчених-кліматологів і екологів з цим явищем пов'язані глобальні кліматичні зміни антропогенного характеру.

Міжнародною групою експертів зі зміни клімату розроблено методики інвентаризації парникових газів на національному рівні (тобто на рівні країн) [1, 2]. Ці методики завдяки своїй універсальності можуть використовуватись для різних країн, незважаючи на істотні відмінності між ними в різних аспектах. Вони охоплюють основні сектори людської діяльності (енергетика, промисловість, сільське та лісове господарство, зміни в землекористуванні, оперування з відходами). Проте, при здійсненні інвентаризації необхідно враховувати відмінності в джерелах емісій парникових газів у межах досліджуваної території. Для цього на основі цих методик створено модель та методику, які відображають емісійні процеси на рівні елементарних ділянок. Така модель інвентаризації дає змогу визначити найбільш забруднені регіони, що є основою для планування ефективних природоохоронних заходів.

Модель інвентаризації парникових газів на рівні елементарних ділянок. Територіальна інвентаризація полягає у розбитті території дослідження на елементарні ділянки певного розміру (наприклад, 2×2 км) та оцінюванні емісій окремо для кожної такої ділянки. Ґрунтуючись на міжнародних підходах до інвентаризації, розроблено відповідну математичну модель [2]:

$$\Delta Y_n = \sum_{s=1}^S \Delta y_{sn} = \sum_{s=1}^S \sum_{m=1}^{M_s} a_{msn} \Delta x_{msn}, \quad n = \overline{1, N}, \quad (1)$$

де ΔY_n та Δy_{sn} – результати інвентаризації в n -й елементарній ділянці в цілому та в окремо взятому s -му секторі для цієї ділянки, відповідно; a_{msn} – коефіцієнт для обчислення викидів для m -ої категорії діяльності s -го сектора n -ої елементарної ділянки; Δx_{msn} – статистичні дані щодо m -ої категорії s -го сектора господарської діяльності на n -ій елементарній ділянці; N – загальна кількість елементарних ділянок.

В цьому випадку вхідні та вихідні дані моделі відносяться до елементарної ділянки, тобто не є зосередженими. Частина параметрів моделі можна отримати, наприклад, з цифрової карти за певними алгоритмами, а щодо решти параметрів, то робляться певні припущення, які визначають алгоритм знаходження параметра. Вхідні та вихідні дані в цій моделі інвентаризації представляють у вигляді георозподіленої бази даних. Отриманий результат відображає внесок кожної окремо взятої елементарної ділянки в загальні процеси емісії парникових газів. Сумування результатів інвентаризації по всіх елементарних об'єктах дає результати інвентаризації на рівні країни [2].

Оцінювання емісій парникових газів у промисловому секторі на рівні елементарних ділянок. Основними джерелами емісій парникових газів від різних видів промислової діяльності є такі процеси, які здійснюють хімічну або фізичну трансформацію матеріалів, тобто не пов'язані з енергетикою (спалюванням викопного палива). Під час таких процесів виділяються різноманітні парникові гази, основними серед яких є CO_2 , CH_4 , N_2O , NO_x , CO , SO_2 та NMVOC [2].

Промисловий сектор, відповідно до міжнародних методик інвентаризації [1, 2], розділено на шість підсекторів: мінеральні речовини (виробництво цементу і вапна; використання вапняку і доломіту; виробництво бітуму; покриття дороги асфальтом; виробництво скла); хімічна промисловість (виробництво аміаку і технічного вуглецю; виробництво сірчаної кислоти; виробництво коксу; виробництво азотної та адипінової кислот; виробництво етилену, метанолу, пропілену, полістиролу та поліпропілену); виробництво металів (виробництво чавуну та сталі; виробництво магнію, алюмінію та феросплавів); паперова промисловість (виробництво целюлози і паперу); харчові продукти і напої (цукор; м'ясо; риба; харчові жири; хлібобулочні вироби; алкогольні напої; комбікорм для тварин); виробництво та використання фторвуглеців і гексафториду сірки.

Загальна методологія оцінювання емісій, пов'язаних з кожним промисловим процесом, обчислюється за такою формулою [1]:

$$E_{gj} = A_j \times F_{gj}, \quad j = \overline{1, J}, \quad g = \overline{1, G}, \quad (2)$$

де E_{gj} – пов'язані з технологічним процесом емісії g -го парникового газу в j -ій категорії промислового сектора; J – кількість аналізованих категорій цього сектора; G – кількість аналізованих парникових газів (вуглекислий газ, метан, закис азоту та інші); A_j – обсяги виробництва або випуску продукції в j -ій категорії діяльності промислового сектора; F_{gj} – коефіцієнт емісії g -го парникового газу на одиницю діяльності в j -ій категорії.

У цій моделі для інвентаризації емісій парникових газів використовуються статистичні дані про обсяги національного виробництва промислової продукції, а також „національні” коефіцієнти емісії.

В секторі „Промислові процеси” модель інвентаризації на рівні елементарних ділянок можна представити у такому вигляді [3]:

$$E_{gn} = \sum_{j=1}^J A_{jn} F_{gj}, \quad g = \overline{1, G}, \quad n = \overline{1, N}, \quad (3)$$

де E_{gn} – емісії g -го парникового газу від промислової діяльності в n -ій елементарній ділянці; A_{jn} – дані щодо j -ої категорії промислової діяльності в n -ій елементарній ділянці (обсяги виробництва промислової продукції).

Для моделі (3) вхідними даними є георозподілені дані щодо промислової діяльності в кожному елементарному об'єкті. В даній роботі досліджено категорію “Виробництво вапна” із підсектора “Мінеральні речовини”. Для формування бази вхідних даних використано допоміжні цифрові карти (карта адміністративних районів, населених пунктів тощо).

Спеціалізована комп'ютерна програма територіальної інвентаризації. Для формування георозподіленої бази вхідних даних і результатів аналізу емісії парникових газів розроблено спеціалізовану комп'ютерну програму територіальної інвентаризації, в якій додатково використовується інструментарій геоінформаційної системи [3].

В основі роботи створеної комп'ютерної програми знаходяться математичні моделі територіальної інвентаризації на регіональному рівні. Програма використовує узгоджені на міжнародному рівні методики інвентаризації, даючи змогу ефективно застосовувати міжнародні підходи до оцінювання складних процесів емісії парникових газів. Завданням програми є побудова територіальних кадастрів емісій парникових газів від господарської діяльності, тобто георозподілених баз даних та цифрових карт, що показують річні обсяги емісій в межах елементарних ділянок [3, 4].

Формування множини елементарних об'єктів для Закарпатської області. Для інвентаризації парникових газів у промисловому секторі використано карти меж адміністративних областей та районів Національного атласу України, з яких засобами геоінформаційної системи „вирізано” відповідні карти меж Закарпатської області та її адміністративних районів. Результуючу цифрову карту районів області представлено як множину з 18 об'єктів (13 меж адміністративних районів та 5 меж міст обласного підпорядкування, для яких державна статистична звітність про результати господарської діяльності ведеться окремо).

Здійснення георозподіленої територіальної інвентаризації парникових газів включає формування елементарних об'єктів, у межах яких буде здійснюватися аналіз. Елементарні об'єкти – це ділянки розміром l км \times l км, які обмежені границями відповідних адміністративних районів. Деякі з них мають квадратну (правильну) форму і площу l^2 км². Такі об'єкти називають “повноцінними”. Решта ж об'єктів мають неправильну форму, оскільки вони обмежені границею відповідного району. Також окремо сформовано ряд елементарних об'єктів, які відповідають містам обласного підпорядкування. Загальна кількість елементарних об'єктів в межах області становить [4]:

$$N = \sum_{r=1}^R N_r + N_M, \quad (4)$$

де R – кількість адміністративних районів Закарпатської області; N_r – кількість елементарних об'єктів у r -му районі, $r = \overline{1, R}$; N_M – кількість об'єктів, які відповідають містам обласного підпорядкування.

Площу адміністративного району D_r визначаємо за формулою [4]:

$$D_r = \sum_{i=1}^{N_r} d_{ri}, \quad r = \overline{1, R}, \quad (5)$$

де d_{ri} – площа i -ої елементарної ділянки (елементарного об'єкта цифрової карти) в межах r -го адміністративного району, км².

Вважаючи, що v_{ri} – це i -ий елементарний об'єкт r -го району, множину V всіх елементарних об'єктів Закарпатської області можна представити як об'єднання множини елементарних об'єктів районного рівня ($V_r = \{v_{ri}, i = \overline{1, N_r}\}$) та множини елементарних об'єктів міст обласного підпорядкування ($V_m = \{v_m, m = \overline{1, N_M}\}$):

$$V = \left[\bigcup_{r=1}^R V_r \right] \cup V_m = \left[\bigcup_{r=1}^R \bigcup_{i=1}^{N_r} v_{ri} \right] \cup \bigcup_{m=1}^{N_M} v_m \quad (6)$$

На основі наведеної вище методики формування елементарних об'єктів територію Закарпатської області “розрізано” на елементарні ділянки розміром 2×2 км. Внаслідок виконання таких дій сформовано множину елементарних об'єктів області, загальна кількість яких становить 3778. Сюди входять об'єкти 13 адміністративних районів та 5 міст обласного підпорядкування.

Територіальна інвентаризація емісій вуглекислого газу (CO₂) при виробництві вапна. Джерела емісій парникових газів, спричинених виробництвом промислової продукції, бувають *площинними* (наприклад, емісії летких неметанових сполук при виробництві м'яса) і *точковими* (наприклад, виготовлення цементу). Виробництво вапна також є прикладом точкових джерел емісії, оскільки тут простежуються результати діяльності окремих промислових підприємств. Таким чином, вхідні дані про обсяги виробництва вапна розподіляють по елементарних ділянках відповідно до розташування заводів з виробництва вапна.

Виробництво вапна містить ряд кроків, які відповідають етапам виробництва портландського цементного клінкеру. Ці кроки включають видобуток сировини, її дроблення та просівання, декарбонізацію, гідратацію вапна до діоксиду кальцію, а пізніше і наступні дії з перевезення, зберігання та використання.

У процесі виробництва вапна відбувається емісія вуглекислого газу (CO₂). Оцінювання емісії CO₂ при виробництві вапна базується на застосуванні коефіцієнта емісії [1], вираженого в тоннах CO₂ на тону виробленого вапна за рік (табл. 1).

Таблиця 1

Коефіцієнти емісії CO₂ при виробництві вапна

| Процес | Коефіцієнти емісії |
|--------------------------------------|--|
| Печі для вапна – кальцитова сировина | 0,79 тонн CO ₂ /тону виробленого негашеного вапна |
| Печі для вапна – доломітова сировина | 0,91 тонн CO ₂ /тону виробленого доломітового вапна |

Математична модель для інвентаризації емісій CO₂ від точкових джерел в процесі виробництва вапна на рівні елементарних ділянок має такий вигляд:

$$E_{CO_2,n} = \sum_{i=1}^{I_n} A_{in} F_{CO_2,in}, \quad n = \overline{1, N}, \quad (7)$$

де $E_{CO_2,n}$ – емісії CO₂ від виробництва вапна на n -ій елементарній ділянці, т; A_{in} – дані щодо діяльності i -го підприємства з виробництва вапна на цій елементарній ділянці; $F_{CO_2,in}$ – коефіцієнт емісії CO₂ від діяльності i -го підприємства з виробництва вапна на n -ій елементарній ділянці; I_n – кількість точкових промислових джерел (підприємств з виробництва вапна) на елементарній ділянці.

У Закарпатській області є такі підприємства з виробництва вапна, як ЗАТ “НАФТОГАЗБУД” та ВАТ “Приборжавське заводууправління будівельних матеріалів”. Згідно із статистичними даними, у Закарпатській області у 2008 році було вироблено 4700 тонн вапна [5]. Дані про обсяги виробництва вапна у області рівномірно розподілено між цими заводами. Отримані дані про обсяги виробництва розподіляють по елементарних ділянках відповідно до розташування заводів (м. Ужгород, с. Приборжавське Іршавського району).

На основі даних про обсяги виробництва вапна для всіх елементарних об’єктів здійснюється інвентаризація парникових газів. На рис. 1 показано результати територіального аналізу емісій вуглекислого газу при виробництві вапна.

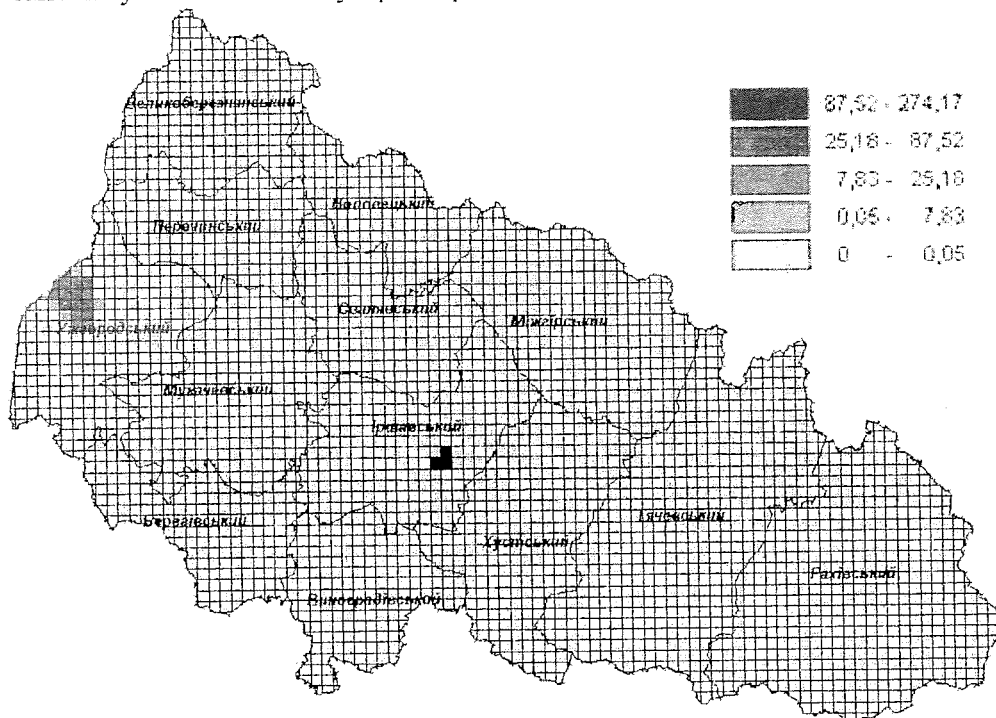


Рис. 1. Карта питомих (віднесених до одиниці площі) емісій вуглекислого газу при виробництві вапна у Закарпатській області у 2008 році (т/км²)

Висновок. Традиційний підхід до інвентаризації парникових газів на національному рівні не відображає специфіки емісій на регіональному рівні. Тому необхідною є територіальна інвентаризація, яка дає владним структурам інформацію про розміщення найбільш впливових джерел емісії. В даній роботі проаналізовано специфіку розподілу джерел емісій парникових газів у промисловому секторі Закарпатської області. Розроблено математичну модель для формування територіального кадастру емісій у цьому секторі, яку реалізовано у спеціалізованій комп'ютерній програмі. Отримано оцінку емісії вуглекислого газу від виробництва вапна, яка полягає в поділі території області на елементарні ділянки розміром 2 × 2 км і почерговому аналізі емісій окремо для кожної такої ділянки. Отримано цифрову карту та відповідну георозподілену базу даних, які містять інформацію про джерела та кількісні оцінки емісії в розрізі окремих елементарних об'єктів. Результати, представлені в такому вигляді, відображають регіональну специфіку процесів емісії парникових газів і дають змогу фіксувати території, які найбільше потребують заходів, спрямованих на зниження концентрації парникових газів у атмосфері.

Список літератури:

1. 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories / Eggleston H.S., Buendia L., Miwa K., Ngara T., Tanabe K. (eds). – IPCC, IGES, Japan, 2006.
2. Бунь Р. А. та ін. Інформаційні технології інвентаризації парникових газів та прогнозування вуглецевого балансу України. – Львів : УАД, 2004. – 376 с.
3. Яремчишин Е.Б. Специализированная геоинформационная система моделирования и анализа эмиссии парниковых газов в промышленном секторе на региональном уровне / Е.Б. Яремчишин, Р.А. Бунь, Х.В. Гамаль // Искусственный интеллект. – Донецк, 2009. – №3. – С. 152-159.
4. Бунь Р.А. Геоінформаційна технологія просторової інвентаризації парникових газів в енергетичній галузі на регіональному рівні / Р. А. Бунь, Х. В. Гамаль // Вісник СНУ ім. Давида. – 2008. – № 1 (119). – С. 17-25.
5. Статистичний щорічник Закарпаття за 2008 рік. – Ужгород : Головне управління статистики у Закарпатській обл., 2009. – 560 с.

*Р.А. Бунь, д-р техн. наук, професор^{1,2}, Е.Б. Яремчишин¹, Г.А. Драпалюк¹
(¹Національний університет "Львівська політехніка"
²Академія бізнесу в Домброве Гурничей, Польща)*

МЕТОДИКА ПОСТРОЕНИЯ КАДАСТРА ЭМИССИЙ ПАРНИКОВЫХ ГАЗОВ В ПРОМЫШЛЕННОМ СЕКТОРЕ: ПРОИЗВОДСТВО ИЗВЕСТИ В ЗАКАРПАТСКОЙ ОБЛАСТИ

Разработана математическая модель и специализированная компьютерная программа для территориальной инвентаризации и анализа эмиссий парниковых газов (углекислого газа, метана, закиси азота) в промышленном секторе. Модель базируется на методиках инвентаризации Межправительственной группы экспертов по изменению климата и учитывает размещение основных источников эмиссии. Как пример, на основании статистических данных построен территориальный кадастр эмиссий двуокиси углерода от производства извести в Закарпатской области. Исследование эмиссионных процессов проведено для элементарных участков размером 2 × 2 км.

Ключевые слова: парниковые газы, промышленный сектор, математическая модель, компьютерная программа, кадастр эмиссий, производство извести, Закарпатская область.

R.A. Bun, Doctor of Sciences (Engineering), Professor^{1,2}, O.B. Yaremchyshyn¹, H.O. Drapalyuk¹
(¹*Lviv Polytechnic National University,*
²*Academy of Business in Dąbrowa Górnicza, Poland)*

METHODOLOGY FOR CONSTRUCTION OF GREENHOUSE GASES EMISSION CADASTRE IN INDUSTRY SECTOR: THE LIME PRODUCTION IN ZAKARPATTHIA REGION

The mathematical model and specialized computer program are developed for territorial inventory and analysis of greenhouse gases (carbon dioxide, methane, nitrous oxide) in the industry sector. The model is based on Guidelines of the Intergovernmental Panel on Climate Change, and it takes into account an allocation of the main emission sources. As an example, a territorial cadastre of carbon dioxide emission from the lime production in Zakarpattia region is constructed on the base of statistical data. Emission processes analysis is conducted for elementary areas 2×2 km in size.

Key words: greenhouse gases, industry sector, mathematical model, computer program, emission cadastre, lime production, Zakarpattia region.

