

ПРОСТОРОВИЙ АНАЛІЗ ЕМІСІЙНИХ ПРОЦЕСІВ: ОПЕРУВАННЯ ВІДХОДАМИ У ПОЛЬЩІ

Summary. The IPCC Waste sector includes categories of emission sources: solid waste disposal on lands, wastewater handling and waste incineration. In this article the mathematical models of GHG emission processes from such categories have been developed. Also geoinformation technology of spatial GHG inventory in Waste sector, which takes into account regional specificity of emission processes in each category, has been developed. In the result of numerical experiments the estimates of GHG emission have been obtained. The spatial cadastres of emissions have been built and presented as digital maps.

Keywords: mathematical modeling, greenhouse gas emission, spatial inventory, waste, Poland.

Анотація. Відповідно до методик МГЕЗК сектор “Відходи” включає категорії джерел емісій: захоронення твердих відходів на звалищах, очищення стічних вод і спалювання відходів. У цій статті представлено математичні моделі процесів емісії парникових газів від цих категорій та геоінформаційну технологію просторової інвентаризації парникових газів при оперуванні з відходами, що враховує регіональну специфіку емісійних процесів у кожній категорії. У результаті обчислювальних експериментів отримано оцінки емісій парникових газів. Побудовано просторові кадастри емісій та проілюстровано їх на цифрових картах.

Ключові слова: математичне моделювання, емісія парникових газів, просторова інвентаризація, відходи, Польща.

Вступ. Зважаючи на стрімке зростання концентрації парникових газів у атмосфері нашої планети, науковці всього світу активно працюють у напрямку скорочення емісій парникових газів та запобігання кліматичним змінам. Згідно з міжнародними домовленостями, що підкріплені відповідними документами, кожна країна зобов'язана здійснювати національну річну інвентаризацію парникових газів у різних секторах господарської діяльності, зокрема, при оперуванні відходами. Чільне місце серед таких документів займає Кіотський протокол, основною метою якого є встановлення санкцій для країн-учасниць шляхом торгівлі квотами на емісії парникових газів.

Аналіз польського національного звіту з інвентаризації парникових газів для 2010 року [1] виявив, що частка сектору “Відходи” у загальних емісіях по

¹ Національний університет "Львівська політехніка"

² Академія бізнесу в м.Домброва Гурніча, Польща

всіх секторах економіки є досить вагомою і становила 3,7%, тому нею не можна знехтувати. Процеси емісії парникових газів у цьому секторі пов'язані з: а) захороненням твердих відходів на звалищах, що класифікуються за джерелом їх виникнення на промислові та побутові відходи; б) очищенням стічних вод: побутових, комерційних, промислових та каналізаційних; в) спалюванням різного типу відходів: побутових, медичних, промислових, відстою стічних вод, тощо.

Сектор “Відходи” є одним з трьох найбільших джерел емісії метану (CH_4) після сільського господарства та енергетики. Частка сектору в сукупних національних емісіях цього газу становила 30,7% у 2010 році. Емісії вуглекислого газу (CO_2) та закису азоту (N_2O) також мають місце при оперуванні відходами, але в значно менших кількостях. Частка категорії захоронення твердих відходів у сумарних емісіях по сектору – 52,4%, очищення стічних вод – 46%, спалювання відходів – 1,6%.

Результати національної інвентаризації, представлені у звіті [1], мають сенс для країни загалом. Проте, формування кадастрів емісій парникових газів можливо здійснювати не лише на загальнодержавному рівні, а також на рівні її регіонів, причому отримані результати все ще є зосередженими відносно певної території. Перевагою просторової інвентаризації парникових газів є можливість оцінювати емісії від різних джерел по окремих елементарних ділянках території з врахуванням специфіки емісійних процесів в їх межах. В цьому плані проведення такої інвентаризації парникових газів та геоінформаційна технологія її реалізації є актуальним науковим завданням. У працях [2, 3] представлено підходи до математичного моделювання та просторового аналізу процесів емісії парникових газів у різних секторах економіки для Львівської області, зокрема від оперування відходами.

Математичні моделі емісійних процесів. Проаналізовано відомі підходи до моделювання емісій парникових газів та на їх основі розроблено новий геоінформаційний підхід до просторової інвентаризації парникових газів у секторі “Відходи”. Відповідно до цього підходу територію Польщі, а саме карту гмін – найменших адміністративно-територіальних одиниць, необхідно “розрізати” допоміжною сіткою довільного розміру (далі це зроблено з використанням сітки 2 км x 2 км), в результаті отримуємо множину елементарних ділянок різної площі. На наступному етапі потрібно почергово оцінити емісії парникових газів для кожної такої ділянки та кожної категорії. Просумувавши емісії від всіх елементарних ділянок отримуємо загальні емісії в межах країни. Отже, моделювання емісійних процесів зводиться до розроблення відповідних математичних моделей, які здатні адекватно відображати реальні процеси емісії при оперуванні відходами.

Захоронення твердих відходів на звалищах. При побудові просторових кадастрів емісій у категорії (а) звалища твердих відходів можна представити площинними джерелами емісій. Статистичні дані щодо обсягів зібраних твердих побутових відходів (ТПВ) у 2010 році є доступними з Банку

локальних даних [4] для всіх воєводств. Більш детальна інформація на рівні повітів – адміністративно-територіальних одиницях другого рівня – відома для 2003 року. Тому використано припущення, що відношення обсягів зібраних відходів у повітах та воєводствах не змінилося у 2010 році порівняно з 2003 роком. Отримані таким чином обсяги ТПВ на рівні повітів для аналізованого 2010 року за допомогою засобів геоінформаційної системи представлено на рис. 1 у вигляді цифрової карти. На добре керовані звалища ТПВ припадає лише 14%, а решта 86% – це глибокі (> 5 м глибиною) некеровані звалища [1].

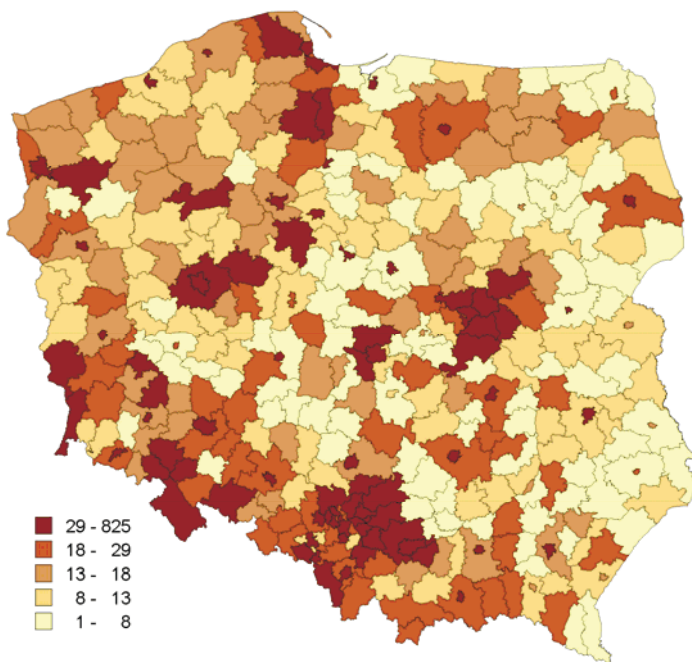


Рис. 1. Територіальний розподіл обсягів зібраних твердих побутових відходів по повітах Польщі (тис. тон, 2010 р.)

Частка категорії, що пов'язана із захороненням промислових відходів, у сумарних емісіях у підсекторі (а) є незначною (6%), а інформація є доступною лише на рівні країни, тому її не брали до уваги.

У товщі ТПВ під впливом мікрофлори (метаногенних бактерій) відбувається біотермічний анаеробний (без доступу кисню) процес розкладення органічних речовин у відходах, що обумовлює значні емісії метану (CH_4). У роботі припустили, що весь обсяг метану вивільнюється у той рік, коли відходи вивезено на звалища (за замовчуванням, на основі методик МГЕЗК [5]). Альтернативним методом до нього є метод затухання першого порядку (ЗПП). Він краще відображає істинний характер процесу

розкладання відходів протягом декількох десятків років, проте не придатний для проведення просторої інвентаризації, оскільки вимагає детальної інформації щодо урбанізації міст за всі ці роки, а такі дані є невідомими.

Нехай $\Delta = \{\delta_m, m = \overline{1, M}\}$ – множина елементарних ділянок, де M – кількість таких ділянок; $\tilde{R}_2 = \{R_{2, n_2}, n_2 = \overline{1, N_2}\}$ – множина адміністративно-територіальних одиниць “другого рівня” (повітів); N_2 – кількість таких повітів; $\tilde{S}^{urb} = \{S_{n_{urb,s}}^{urb}, n_{urb,s} = \overline{1, N_{urb,s}}\}$ – множина міст та селищ міського типу; $N_{urb,s}$ – кількість таких міст та селищ міського типу на аналізованій території.

Вважаємо, що обсяги зібраних ТПВ, відомі на рівні повітів (див. рис. 1), дезагредовано по містах територіально пропорційно до населення в місті, а з рівня міст до рівня елементарних ділянок – з врахуванням частки міського населення в елементарних ділянках, відповідно.

Обсяги зібраних ТПВ у місті обчислюємо, використовуючи формулу:

$$D_{MSW}(S_{n_{urb,s}}^{urb}) = \frac{D_{MSW}(R_{2, n_2}) P(S_{n_{urb,s}}^{urb})}{P(R_{2, n_2})}, \quad (1)$$

де $D_{MSW}(S_{n_{urb,s}}^{urb})$ – шукані обсяги зібраних відходів у місті $S_{n_{urb,s}}^{urb}$; $D_{MSW}(R_{2, n_2})$ – обсяги зібраних відходів у повіті R_{2, n_2} ; $P(R_{2, n_2}), P(S_{n_{urb,s}}^{urb})$ – кількість населення у повіті R_{2, n_2} та місті $S_{n_{urb,s}}^{urb}$, відповідно.

Відношення кількості населення в аналізованій елементарній ділянці до кількості населення у місті можна обчислити як:

$$c(\delta_m, S_{n_{urb,s}}^{urb}) = \frac{d(\delta_m) \text{ area}(S_{n_{urb,s}}^{urb} \cap \delta_m)}{P(S_{n_{urb,s}}^{urb})}, \quad (2)$$

де $c(\delta_m, S_{n_{urb,s}}^{urb})$ – шукана частка населення в m -й елементарній ділянці δ_m ; $d(\delta_m)$ – густина населення в m -й елементарній ділянці; $P(S_{n_{urb,s}}^{urb})$ – кількість населення у місті $S_{n_{urb,s}}^{urb}$, до якого належить m -та елементарна ділянка, тобто $\delta_m \subset S_{n_{urb,s}}^{urb}$ (географічний об’єкт δ_m знаходиться в межах географічного об’єкту $S_{n_{urb,s}}^{urb}$), $\text{area}(x)$ – площа об’єкту x , \cap – операція знаходження спільної території двох географічних об’єктів.

Процесам емісії метану від звалищ твердих побутових відходів у кожній елементарній ділянці, на які розділено аналізовану територію, поставлено у

відповідність математичну модель:

$$E_{MSW}^{CH_4}(\delta_m) = \left(\begin{aligned} & \left(D_{MSW} \left(S_{n_{urb,s}}^{urb} \right) \cdot c \left(\delta_m, S_{n_{urb,s}}^{urb} \right) \times \right. \\ & \times K_{MSW_f} \left(S_{n_{urb,s}}^{urb} \right) \cdot K_{MCF} \cdot K_{DOC} \times - R^{CH_4}(\delta_m) \times \\ & \left. \times K_{DOC_f} \cdot K_F \right) \end{aligned} \right) \quad (3)$$

$$\times (1 - K_O) \times \frac{16}{12},$$

де $E_{MSW}^{CH_4}(\delta_m)$ – річні емісії метану (CH₄) від звалищ твердих побутових відходів у елементарній ділянці δ_m ; $K_{MSW_f} \left(S_{n_{urb,s}}^{urb} \right)$ – частка зібраних ТПВ, які було розміщено на звалищах у місті $S_{n_{urb,s}}^{urb}$; K_{MCF} – безрозмірний поправочний коефіцієнт для емісії метану (CH₄), розрахований як середнє зважене значення для різних типів звалищ (контрольованих, неконтрольованих); K_{DOC} – коефіцієнт, що відображає здатність органічного вуглецю у відходах до розкладання, величина якого залежить від структури відходів (харчові, садово-паркові відходи, папір, текстиль, деревина) та обчислюється як середньозважена величина вмісту вуглецю (C) у різних складових загального потоку відходів; K_{DOC_f} – частка фактично розкладеного органічного вуглецю (C); K_F – частка метану (CH₄) по об’єму в біогазі зі звалища, оскільки газ зі звалища складається в основному з метану та вуглекислого газу (CO₂); 16/12 – стехіометричне значення між вмістом вуглецю (C) в метані (CH₄); $R^{CH_4}(\delta_m)$ – обсяги відведеного метану із звалища, наприклад, для спалювання у факелі з метою отримання енергії, у елементарній ділянці δ_m ; K_O – коефіцієнт окиснення метану.

Для оцінювання емісії від звалищ ТПВ використано статистичну інформацію про чисельність населення у містах та селищах міського типу з цифрової карти міських населених пунктів; обсяги захоронених ТПВ на звалищах по воєводствах та повітах у 2003 та 2010 роках з даних Центрального статистичного управління Польщі [4]. Для потреб моделювання використано цифрову карту адміністративних районів та карту густоти населення в елементарних ділянках.

Спалювання відходів. При спалюванні чотирьох різних типів відходів (побутових, небезпечних разом з промисловими, медичних та осаду стічних вод) у спеціально відведених печах мають місце емісії вуглекислого газу (CO₂) та закису азоту (N₂O). Математична модель емісійних процесів для таких площинних джерел залежить від вхідних даних: статистичних даних

щодо обсягів спалених відходів та коефіцієнтів емісії, що розраховані на основі вмісту вуглецю (C) у відходах [5]. Зі статистичних даних про грошові витрати на спалювання окремо безпечних та небезпечних відходів [6] вивели частки, які припадають на спалювання таких відходів разом у кожному воєводстві. Отримані обсяги спалених відходів на рівні воєводств розподілили пропорційно до населення в елементарній ділянці цього воєводства за принципом, аналогічним як у формулі (2).

Процес очищення стічних вод, що використовуються промисловістю та для побутових цілей, призводить до значних емісій парникових газів, зокрема метану та закису азоту, і за обсягом викидів стоїть поряд з категорією захоронення твердих відходів на звалищах. Для здійснення просторової інвентаризації в цій категорії розроблено математичні моделі процесів емісії парникових газів окремо для промислових, побутових та каналізаційних стічних вод, оскільки використовувани в моделях види статистичних даних та коефіцієнти емісії для різних типів стічних вод суттєво відрізняються.

Побутові стічні води. Математична модель залежить від обсягів утворених органічних відходів та коефіцієнтів емісії. Загальні обсяги відходів розраховано з даних про чисельність населення в елементарній ділянці та біохімічної потреби в кисні (кг CH_4 в розрахунку на 1 особу на рік) [5]. Коефіцієнти емісії для кожного типу відходів залежать від максимальної здатності утворення метану і зваженого середнього коефіцієнта перетворення метану для різних систем очищення стічних вод. Припускаємо, що значна кількість органічних відходів у сільських місцевостях буде розкладатися в аеробних умовах, тому для оцінювання емісії метану від очищення побутових стічних вод використовуємо дані про чисельність міського населення.

Хоча “Очищення стічних вод” є ключовою категорією джерел емісії, проте емісії CH_4 при очищенні саме промислових стічних вод є незначними.

Оцінювання емісій здійснено з використанням даних про об’єми органічних промислових стічних вод, що пройшли очищення на місцях, у розрізі чотирьох найважливіших галузей промисловості (металургійна, хімічна, харчова та інші); значення за замовчуванням для даних щодо хімічної потреби в кисні (кг CH_4 / m^3 промислових стічних вод) [5]; максимальної здатності утворення метану та частки промислових стічних вод, очищених в анаеробних умовах, що становить 14,9% відповідно до [1].

Висновки. Розроблені математичні моделі процесів емісії парникових програмно реалізовано у спеціалізованій геоінформаційній системі. У результаті обчислювальних експериментів отримано оцінки емісій у розрізі окремих категорій джерел. Отримані оцінки на рівні елементарних ділянок відображають внесок кожної такої ділянки в сумарні емісії по країні. З використання розробленої геоінформаційної технології побудовано просторові кадастри емісій вуглекислого газу, метану, закису азоту, а також емісій в CO_2 -еквіваленті з використанням коефіцієнтів глобального потепління (для вуглекислого газу – 1, метану – 25, закису азоту – 298).

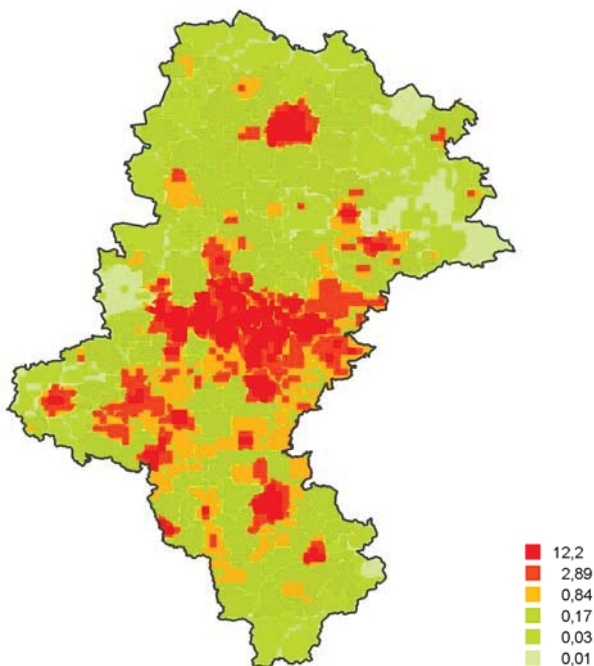


Рис. 2. Просторова інвентаризація парникових газів (в CO₂-еквіваленті) від сектору “Відходи” на рівні елементарних ділянок 2 км x 2 км для Сілезького воєводства Польщі (тис. тон, 2010 р.)

Сумарні емісії парникових в CO₂-еквіваленті від оперування з відходами у 2010 році за результатами просторової інвентаризації становили 14832,6 тис. тон. З них емісії метану від захоронення твердих відходів на звалищах склали 276,8 тис. тон, від очищення стічних вод – 265,6 тис. тон. Просторовий аналіз емісій виявив, що найбільш забрудненими є території Сілезького воєводства (1990 тис. тонн CO₂-еквіваленту), результати інвентаризації на рівні елементарних ділянок цього воєводства, проілюстровані на рис. 2, є важливими для владних структур при прийнятті стратегічних рішень щодо шляхів скорочення емісій парникових газів на відповідних територіях. Роботи виконано в рамках проекту 7FP Marie Curie Actions IRSES project No. 247645.

1. Poland's National Inventory report 2012: Greenhouse Gas Inventory for 1988-2010. National Centre for Emission Management at the Institute of Environmental Protection. – Warszawa : National Research Institute, 2012.

2. Яремчишин О. Б. Емісії парникових газів від відходів: просторовий аналіз / О. Б. Яремчишин, Р. А. Бунь // Проблеми екологічної безпеки та якості середовища : зб. тез доп. міжнар. наук. конф., Львів, 2010 р. / Львів. держ. ун-т безпеки безпеки

життєдіяльності. – Львів, 2010. – С. 48-49.

3. Яремчишин О.Б. Математичне моделювання та просторовий аналіз емісій парникових газів від стічних вод / Яремчишин О. Б., Бунь Р. А. // Актуальні проблеми інформаційних технологій, економіки та права : Матер. міжнар. наук.-практ. конф. – Чернівці, 2011. – С. 103-104.

4. Waste collected during the year (NTS-4, 2003-2012). – Local Data Bank, Warszawa, 2014.

5. Руководящие указания МГЭИК по эффективной практике и учет факторов неопределенности в национальных кадастрах парниковых газов. Глава 5. Отходы. / Penman Jim, Dina Kruger, Ian Galbally et al. // [IPCC]. – 2000.

6. Ochrona Środowiska 2013. [Електронний ресурс] – Режим доступу: http://www.stat.gov.pl/gus/5840_1523_ENG_HTML.htm

Поступила 3.02.2014р.

УДК 621.513

М. О. Медиковський, д.т.н., І. Г. Цмоць, д.т.н.; О. М. Павлюк, к.т.н.,
Національний університет «Львівська політехніка»,
кафедра «Автоматизованих систем управління», Львів

ІНТЕЛЕКТУАЛЬНІ КОМПОНЕНТИ ІНТЕГРОВАНИХ АВТОМАТИЗОВАНИХ СИСТЕМ УПРАВЛІННЯ ДЛЯ ВИЯВЛЕННЯ ВТРАЧЕНИХ ДАНИХ

Проаналізовано існуючі методи та алгоритми відновлення та доповнення втраченої інформації в ІАСУ. Вибрано для реалізації даної задачі нейромережевий метод на основі парадигми функціонал на множині табличних функцій. Розроблено універсальну інтелектуальну компоненту для всіх рівнів ІАСУ та адаптовано її для задач енергетики.

Проанализированы существующие методы и алгоритмы восстановления и дополнения потерянной информации в ИАСУ. Выбрано для реализации данной задачи нейросетевой метод на основе парадигмы функционал на множестве табличных функций. Разработан универсальный интеллектуальный компонент для всех уровней ИАСУ и адаптирован для задач энергетики.

The existing methods and algorithms for recovering and amendments the lost information for IACS are analyzed. The neural neural network method which is based on the paradigm of functional on the set of tabulated functions is chosen for the IASC tasks solution. The universal intellectual component for all levels of IACS is designed and adapted to the tasks solutions in energetics.

Постановка проблеми. Використання інтелектуальних компонентів в інтегрованих автоматизованих системах управління (ІАСУ) забезпечує підвищення ефективності управління технологічними процесами, виробничою, фінансовою, господарською та адміністративною діяльністю