

*О.Я. Данило (НУ "Львівська політехніка")
Р.А. Бунь, д-р техн. наук, професор
(НУ "Львівська політехніка"; Академія бізнесу в Домброві Гурнічій, Польща)
М.П. Сорочич (Львівський державний університет безпеки життєдіяльності)*

МОДЕЛЮВАННЯ ЕМІСІЙ ПАРНИКОВИХ ГАЗІВ ВІД СПАЛЮВАННЯ ПРИРОДНОГО ТА СКРАПЛЕНОГО ГАЗУ В ЖИТЛОВОМУ СЕКТОРІ РІВНЕНСЬКОЇ ОБЛАСТІ

На основі аналізу цільового використання природного та скрапленого газу у житловому секторі Рівненської області представлено загальний підхід до процесу інвентаризації та просторового аналізу емісій парникових газів від спалювання цих видів палива. Розроблено математичну модель та алгоритми дослідження процесів емісії парникових газів у житловому секторі, що ґрунтуються на територіальному розподілі спаленого населенням палива з врахуванням показників густоти населення, питомої житлової площі, обладнаної газом та опаленням, і дають можливість формувати георозподілені кадастри емісій парникових газів. На підставі здійснених числових експериментів отримано цифрову карту та відповідну георозподілену базу даних, які містять інформацію про джерела та кількісні оцінки емісії в розрізі окремих елементарних об'єктів розміром 2 x 2 км.

Ключові слова: парникові гази, житловий сектор, природний та скраплений газ, математична модель, кадастр емісій, Рівненська область.

Вступ. Зміна клімату – це, насамперед, глобальна екологічна проблема. Сьогодні клімат на планеті змінюється і стає дедалі непередбачуваним. Якщо в найближчі роки теперішні тенденції не зміняться, то до кінця століття глобальна температура сягне найвищої позначки, після якої призупинити зміну клімату чи спрогнозувати масштаби наслідків буде неможливо. За минуле десятиліття було помічено значне підвищення середньорічної температури. Більшість фахівців пов'язують це явище зі збільшенням концентрації в атмосфері газів, які мають назву «парникові».

Міжурядовою групою експертів зі зміни клімату розроблено методики інвентаризації парникових газів на рівні країни [1, 2]. Ці підходи охоплюють різноманітні сектори господарської діяльності, вони є універсальні та можуть використовуватися будь-якою країною. Проте недоліком таких підходів є те, що вони не пристосовані до повноцінного врахування регіональних особливостей та не беруть до уваги територіальне розміщення джерел емісії.

Емісії парникових газів у житловому секторі виникають внаслідок спалювання населенням природного та скрапленого газу, кам'яного вугілля, дров, торф'яних брикетів та напівбрикетів. Цей сектор спричиняє значні емісії парникових газів, хоча водночас тут криються резерви до істотного зменшення емісій. Структуру емісій від спалювання вказаних видів палива у житловому секторі Рівненській області зображено на рис. 1.

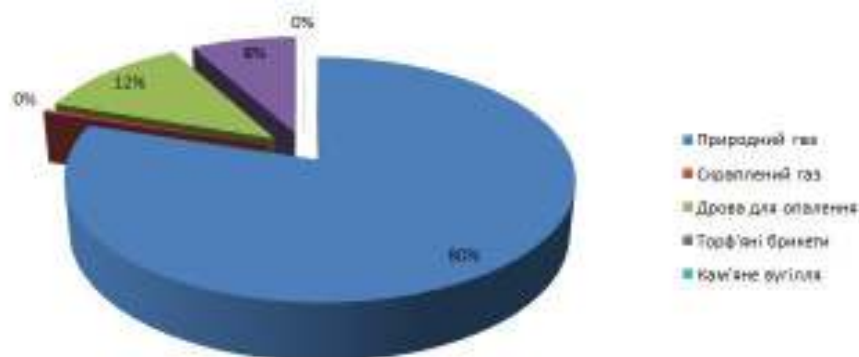


Рис. 1. Структура сумарних емісій CO_2 , CH_4 та N_2O від спалювання палива у житловому секторі на рівні області (по видах палива; в CO_2 -еквіваленті, 2009 р.):
80 % – природний газ; 12 % – дрова для опалення; 8 % – торфобрикети.

На рівні області емісії від спалювання природного та скрапленого газу становлять 80% від усіх викидів парникових газів. Саме тому розроблення математичних моделей та геоінформаційних технологій до просторової інвентаризації вуглекислого газу, метану та закису азоту, які ґрунтуються на територіальному розподілі спаленого населенням палива і які дадуть можливість сформуванню георозподілені кадастри емісій парникових газів у житловому секторі Рівненської області, є актуальним науковим завданням.

Специфіка об'єкта дослідження та формування цифрової карти. Загальний підхід до процесу інвентаризації та просторового аналізу емісій парникових газів у житловому секторі полягає у виділенні обсягів палива, спаленого населенням на порівняно невеликих територіях та просторової локалізації емісій спричинених такою діяльністю. При цьому важливою є інформація про специфічні «регіональні» коефіцієнти емісії парникових газів, що враховують особливості використовуваного палива та технологію його спалювання.

При оцінюванні емісії парникових газів у житловому секторі для окремого міста чи області загалом неможливо визначити емісії від спалювання палива населенням на рівні окремого будинку чи квартири. Крім цього, інформація на такому рівні не є необхідною, оскільки дослідження проводяться на рівні елементарних ділянок значно більшого розміру (в цьому дослідженні проаналізовано ділянки розміром 2 x 2 км). Тому стаціонарними джерелами емісій для житлового сектора вважаємо не окремі будинки, а території населених пунктів, які належать до площинних джерел. На рівні окремої елементарної ділянки емісії парникових газів є сумою емісій усіх джерел, що територіально розміщені на цій ділянці [3]. Для Рівненської області множина сформованих елементарних об'єктів нараховує 5997 елементів. Сюди входять об'єкти 16 адміністративних районів.

Дані про споживання палива населенням в статистичних збірниках наводяться тільки на рівні області, тому при здійсненні просторової інвентаризації ці дані слід дезагрегувати по районах та елементарних об'єктах. Природний та скраплений газ використовується населенням як у міських поселеннях, так і в сільських. Пропан-бутанова суміш використовується споживачами там, де відсутня централізована система газопостачання. Для Рівненської області дані про негазифіковані поселення відсутні. Тому в описаній нижче моделі дані про споживання природного газу дезагреговано елементарним об'єктам пропорційно до кількості населення з врахуванням частки житлової площі, обладнаної газопостачанням, а дані про споживання скрапленого газу – з врахування житлової площі, що не обладнана централізованим газопостачанням, пропорційно до кількості населення.

Загальний алгоритм розподілу даних про обсяги спожитого природного газу населенням Рівненської області полягає в реалізації таких кроків:

- 1) загальнообласні дані про споживання природного газу розподіляють адміністративним районам пропорційно до показника «обладнання житлової площі в житлових будинках, нежилых будівлях газом» у міській та сільській місцевостях загалом;
- 2) для кожного адміністративного району виділяють поселення міського типу (міста та селища міського типу) та сільські поселення;
- 3) для кожного району загальну кількість використаного природного газу розділяють на дві групи (спожите у містах та у сільських поселеннях) на основі показника «питомої житлової площі обладнання в житлових будинках, нежилых будівлях газом»;
- 4) дані про спожитий природний газ населенням для кожного району розподіляють по міських та сільських поселеннях пропорційно до кількості населення.

Алгоритм дезагрегації даних про використаний скраплений газ аналогічний до алгоритму розподілу природного газу, тільки беремо до уваги не показник «питомої житлової площі обладнання в житлових будинках, нежилых будівлях газом», а показник питомої площі, що не обладнана газом.

Множина елементарних об'єктів для просторового аналізу процесів емісії. З метою математичного моделювання процесів емісії на рівні елементарних об'єктів означено

но ряд множин географічних об'єктів та деякі спеціальні операції над ними. Зокрема, введено такі множини: $\tilde{R} = \{R_i, i = \overline{1, N^A}\}$ – множина адміністративних районів Рівненської області, де N^A – число районів в області; $\tilde{S} = \{\tilde{S}^{Urb}, \tilde{S}^{Rur}\}$ – множина населених пунктів усіх типів; $\tilde{S}^{Urb} = \{S_i^{Urb}, i = \overline{1, N^{Urb}}\}$ – множина міст і селищ міського типу; де N^{Urb} – кількість таких населених пунктів; $\tilde{S}^{Rur} = \{S_i^{Rur}, i = \overline{1, N^{Rur}}\}$ – множина сіл; де N^{Rur} – їх кількість; $\Delta = \{\delta_i, i = \overline{1, N^o}\}$ – множина елементарних ділянок, на які розділено територію області, де N^o – кількість таких ділянок.

Для таких географічних об'єктів введено ряд відношень, які далі використано не у теоретико-множинному розумінні, а для визначення територіальної приналежності та взаємного розміщення географічних об'єктів. Зокрема, для географічних об'єктів A і B означено операцію $A \cap B = C$, де об'єкт C є спільною територією об'єктів A і B , причому $C \neq \emptyset$, якщо об'єкти A і B мають хоча б одну спільну точку на межі. Використано також функцію обчислення площі географічного об'єкта A – $area(A)$, яка подається в км².

Математична модель для аналізу емісій парникових газів. На рівні елементарних ділянок емісії g -го парникового газу від спалювання природного та скрапленого газу у житловому секторі визначаємо за допомогою такої математичної моделі:

$$E_{Res}^g(\delta) = \sum_{s \in \tilde{S}^{Rur}} \sum_{i=1}^I (M_i^o \cdot F_{i,Rur}^R \cdot EF_{Res,i}^g) + \sum_{s \in \tilde{S}^{Urb}} \sum_{i=1}^I (M_i^o \cdot F_{i,Urb}^R \cdot EF_{Res,i}^g),$$

$$g = \overline{1, G}, \quad R = \{R \in \tilde{R} \wedge \delta \in R\},$$

де I – кількість видів палива ($i = 1$ – природний, $i = 2$ – скраплений газ); R – номер адміністративного району, якому належить δ -та елементарна ділянка; M_i^o – обсяги використаного в області палива i -го типу; $Q(s)$ – кількість населення, що проживає у s -му населеному пункті; $EF_{Res,i}^G$ – коефіцієнт емісії g -го парникового газу при використанні i -го виду палива; Res – індекс, який використовується для відображення того, що відповідний показник належить до житлового сектора; G – кількість аналізованих парникових газів; $F_{i,Urb}^R, F_{i,Rur}^R$ – показники, які використовують для виділення частки із загальнообласних обсягів споживання палива, спаленого у міській (Urb) та сільській (Rur) місцевостях для i -го виду палива;

$$F_{i,typ}^R = \frac{H_{i,typ}^R}{\sum_{p \in \{\tilde{S}^{Rur}\}} [Q(p) \cdot H_{i,Rur}^R] + \sum_{p \in \{\tilde{S}^{Urb}\}} [Q(p) \cdot H_{i,Urb}^R]} \times \frac{Q(s) \cdot area(s \cap \delta)}{area(s)}, \quad i \in I,$$

причому $typ = \{Rur, Urb\}$ – змінна перерахункового типу; $H_{1,Rur}^R$ та $H_{1,Urb}^R$ – показники «обладнання житлової площі в житлових будинках, нежилых будівлях газом» у міській (Urb) та сільській (Rur) місцевостях; $H_{2,Urb}^R$ та $H_{2,Rur}^R$ – показники «необладнаної житлової площі в житлових будинках, нежилых будівлях газом» у міській (Urb) та сільській (Rur) місцевостях.

Просторовий кадастр емісій. Для реалізації моделі просторово розподіленої інвентаризації емісій парникових газів у житловому секторі Рівненської області використано цифрові карти населених пунктів України, в яких для кожного поселення встановлено його тип (місто, місто обласного підпорядкування, село, селище) та кількість населення, що в ньому проживає, за даними останнього перепису населення.

У процесі побудови георозподіленої бази даних про емісії парникових газів на території області, використовуючи наведену вище математичну модель, населення селищ віднесено до сільського населення. Із статистичних збірників [4, 5] використано показники споживання палива населенням на рівні області, а також показник питомої житлової площі обладнання в житлових будинках, нежилых будівлях газом. Дані на рівні районів та міст обласного підпорядкування про відпуск палива населенню та населені пункти, що залишались негазифікованими, у статистичних довідниках відсутні.

Використовуючи коефіцієнти, запропоновані Міжурядовою групою експертів зі зміни клімату [1] та враховуючи фізико-хімічні властивості реалізованого населенню палива, на основі розроблених математичних моделей просторового аналізу емісії вуглекислого газу, метану та закису азоту від спалювання природного та скрапленого газу у житловому секторі, отримано територіальні розподіли емісій парникових газів у Рівненській області (рис. 2).

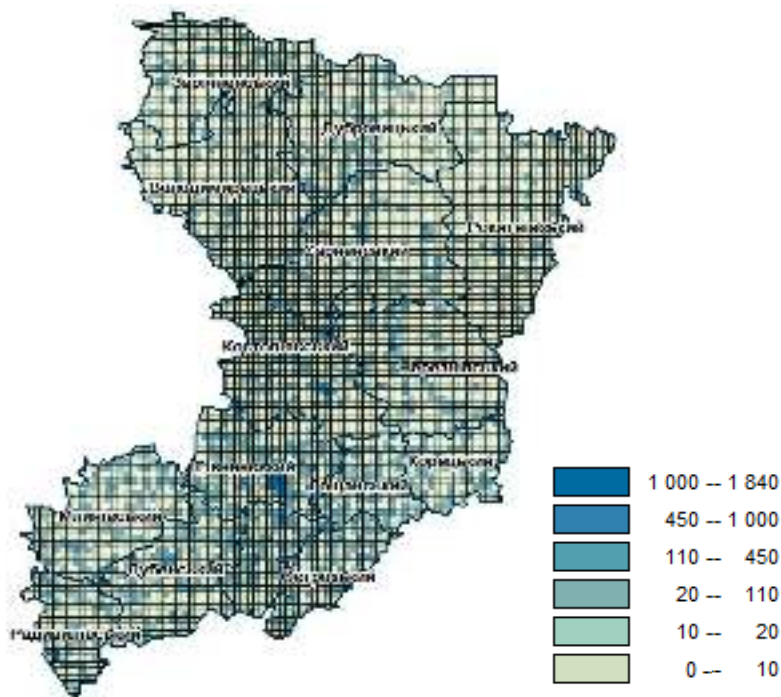


Рис. 2. Питомі емісії CO_2 , CH_4 та N_2O від спалювання природного газу, реалізованого населенню, на території Рівненської області на рівні елементарних ділянок 2×2 км ($t/км^2$; в CO_2 -еквіваленті; 2009 р.)

Висновки. На основі аналізу відомих підходів до інвентаризації емісій парникових газів від спалювання природного та скрапленого газу у житловому секторі можна стверджувати, що не існує прийнятних математичних методів та відповідних програмних засобів для просторової інвентаризації парникових газів, зокрема для Рівненської області. Оскільки більшість методик є універсальними, то вони не враховують регіональних особливостей та специфіку системи статистичної звітності. В роботі розроблено відповідні математичні моделі процесів емісії парникових газів у житловому секторі Рівненської області, створено спеціалізовану геоінформаційну систему і з її використанням реалізовано числові експерименти з просторового аналізу емісій в цьому секторі від спалювання природного та скрапленого газу. Зокрема, отримано питомі емісії вуглекислого газу, метану та закису азоту від спалювання цих видів палива на рівні елементарних об'єктів розміром 2×2 км. Результати такої просторової інвентаризації відображають внесок кожної окремо взятої елементарної ділянки в загальні процеси емісії і дають змогу виявити території з найбільшим антропогенним навантаженням на довкілля.

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. **Інформаційні технології інвентаризації парникових газів та прогнозування вуглецевого балансу України** / Бунь Р. А. та ін. – Львів : УАД, 2004. – 376 с.
3. **Бунь Р. А.** Геоінформаційна технологія просторової інвентаризації парникових газів в енергетичній галузі на регіональному рівні / Р. А. Бунь, Х. В. Гамаль // Вісник СНУ ім. Даля. – 2008.– № 1 (119). – С. 17-25.
4. **Паливно–енергетичні ресурси Рівненщини** : Стат. зб. – Рівне : Головне управління статистики у Рівненській обл., 2009. – 40 с.
5. **Статистичний щорічник Рівненської області за 2009 рік** : Стат. зб. – Рівне : Головне управління статистики у Рівненській обл., 2009. – 500 с.

О.Я. Даныло, Р.А. Бунь, М.Ф. Сорочич

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭМИССИЙ ПАРНИКОВЫХ ГАЗОВ ОТ СЖИГАНИЯ ПРИРОДНОГО И СЖИЖЕННОГО ГАЗА В ЖИЛОМ СЕКТОРЕ РОВЕНСКОЙ ОБЛАСТИ

На основании анализа целевого использования природного и сжиженного газа в жилом секторе Ровенской области представлено общий подход к процессу инвентаризации и пространственного анализа эмиссий парниковых газов от сжигания этих видов топлива. Разработана математическая модель и алгоритмы исследования процессов эмиссии парниковых газов в жилом секторе, основанные на территориальном распределении сожженного населением топлива с учетом показателей плотности населения, удельной жилой площади, оборудованной газом и отоплением, и дают возможность формировать геораспределенные кадастры эмиссий парниковых газов. На основании проведенных числовых экспериментов получены цифровая карта и соответствующая геораспределенная база данных, содержащая информацию об источниках и количественных оценках эмиссии для элементарных объектов размером 2 км x 2 км.

Ключевые слова: парниковые газы, жилой сектор, природный и сжиженный газ, математическая модель, кадастр эмиссий, Ровенская область.

О.У. Danylo, R.A. Bun, M.P.Sorochych

MODELING OF GREENHOUSE GAS EMISSIONS FROM COMBUSTION OF NATURAL AND LIQUEFIED GAS IN RESIDENTIAL SECTOR IN RIVNE REGION

Based on the analysis of natural and liquefied gases used in residential sector in Rivne region an approach to inventory and spatial analysis of greenhouse gas emissions caused by burning these fossil fuels is presented. The mathematical model and the algorithms for spatial inventory of greenhouse gases, based on territorial disaggregation of burned fuels, which gives possibility to create georeferenced cadastres of emissions in the residential sector, are developed. Based on performed numerical experiments the digital map and database of greenhouse gas emissions in Rivne region are obtained. Analysis of emission processes is conducted for elementary areas 2 km × 2 km in size.

Key words: greenhouse gases, residential sector, natural and liquefied gas, mathematical model, emission cadastre, Rivne region.

