

ПРОСТОРОВИЙ АНАЛІЗ ЕМІСІЙ ПАРНИКОВИХ ГАЗІВ У ЖИТЛОВОМУ СЕКТОРІ ІВАНО-ФРАНКІВСЬКОЇ ОБЛАСТІ З ВРАХУВАННЯМ НЕВИЗНАЧЕНОСТІ ВХІДНИХ ДАНИХ

Здійснено просторову інвентаризацію парникових газів у житловому секторі Івано-Франківської області, з використанням даних, отриманих від обласного статистичного управління, розробленої карти населення та іншої необхідної інформації (коефіцієнтів емісії парникових газів, теплотворних значень палив та ін.). Проаналізовано георозподілену базу з отриманими результатами та побудовано цифрові карти, що ілюструють питомі емісії парникових газів в області. Здійснено валідацію розробленого підходу та оцінено невизначеність результатів інвентаризації.

Ключові слова: математичне моделювання, емісія парникових газів, просторова інвентаризація, житловий сектор, Івано-Франківська область.

Spatial inventory of greenhouse gas emissions in the residential sector in Ivano-Frankivsk region has been conducted, using the data from regional statistical department, the developed population map and other input data (emission coefficients, net calorific values, etc.). The geo-referenced database has been analysed and digital maps, which present the obtained results of inventory, has been designed. The validation of the developed approach has been conducted and uncertainty of the obtained results has been estimated.

Keywords: mathematical modeling, greenhouse gas emission, spatial inventory, residential sector, Ivano-Frankivsk region.

1. ВСТУП

Зміна клімату є вкрай гострою проблемою сьогодні. Основною причиною таких змін вчені вважають збільшення концентрації парникових газів в атмосфері. У 1958 році на горі Мауна-Лоа (Гаваї) була відкрита перша обсерваторія по вивченню двоокису вуглецю, в якій здійснюються неперервні вимірювання концентрації цього парникового газу в атмосфері (графік Кілінга). Перші вимірювання зафіксували рівень 315 ppmv (0,0315%). Натомість у квітні 2014 року концентрація цього газу в атмосфері досягла значення 401 ppmv (0,0401%) [1]. Це значення на графіку Кілінга є найбільшим з усіх

¹Національний університет "Львівська політехніка"

² Академія бізнесу в м.Домброва Гурніча, Польща

коли-небудь зафіксованих. Основною причиною зростання концентрації парникових газів в атмосфері є використання викопних видів палива для забезпечення енергетичних потреб в усіх сферах людської діяльності. Саме тому, важливим науковим і практичним завданням є зменшення емісій парникових газів в усіх секторах економіки. Це може бути досягнуто шляхом ефективнішого використання енергетичних ресурсів та збільшення відсотку енергії, що забезпечується з відновлювальних джерел енергії. Для цього, перш за все, необхідно визначити сектори, в яких можливе скорочення емісій парникових газів та оцінити емісії парникових газів для цих секторів на рівні невеликих точкових, лінійних чи площинних географічних об'єктів. Такий підхід дає змогу аналізувати не тільки величину емісій, але і їх структуру, та виявляти резерви для зменшення емісій парникових газів.

Житловий сектор є одним з важливих секторів людської діяльності. Енергетичні потреби населення у цьому секторі залежать від кількості енергії, що необхідна для опалювання житла, приготування їжі та підігріву води. Ці потреби можуть бути забезпечені з централізованих джерел енергії (централізоване тепло- та водопостачання, газова мережа), або ж можуть бути отримані самостійно з «власних» джерел енергії, а саме від спалювання природного газу, дров для опалення, торф'яних брикетів та напівбрикетів, скрапленого газу чи кам'яного вугілля. Вибір джерела залежить від його доступності в регіоні та його вартості (у розрахунку на одиницю енергії).

Тому метою цієї статті є формування математичної моделі емісійного процесу у житловому секторі та ілюстрація її використання для просторової інвентаризації парникових газів на прикладі Івано-Франківської області.

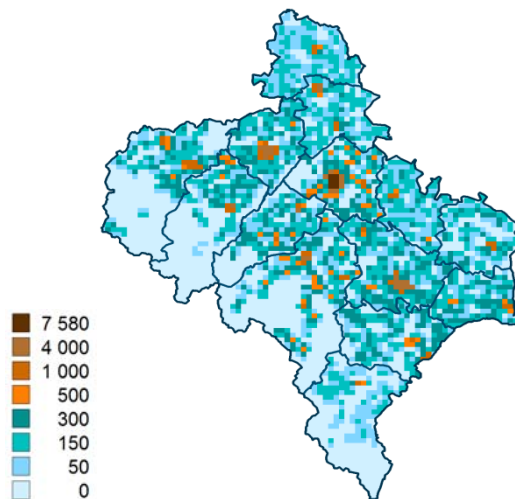


Рис. 1. Дані про густоту населення на рівні площинних елементарних об'єктів (чол./км², 2 км x 2 км, 2010 рік)

2. ІНФОРМАЦІЙНА ТЕХНОЛОГІЯ ГЕОПРОСТОРОВОГО АНАЛІЗУ ЕМІСІЙНИХ ПРОЦЕСІВ У ЖИТЛОВому СЕКТОРІ ІВАНО-ФРАНКІВСЬКОЇ ОБЛАСТІ

Основою для обчислення геопросторових даних про емісії парникових газів є цифрові карти, зокрема карта густоти населення (рис. 1), карта адміністративних районів та карта опалювальних градусо-днів. Розроблений підхід до просторової інвентаризації парникових газів включає чотири основні кроки (рис. 2). На першому кроці здійснюємо збір необхідної статистичної інформації, підготовку цифрових карт та побудову георозподіленої бази вхідних даних, які далі використовуємо для дезагрегації даних про спожите паливо. На другому кроці, для кожного населеного пункту в межах адміністративного району оцінюємо кількість енергії, що необхідна для забезпечення побутових потреб населення. На цьому етапі важливо мати карту населених пунктів з актуальними даними про густоту населення. У цій роботі використано карту, розроблену на основі даних про координати населених пунктів, їхню площу та адміністративну приналежність [2]. Інформацію про чисельність населення було оновлено на основі даних Державного комітету статистики України [3]. На третьому етапі здійснюємо дезагрегацію даних про спожите населенням паливо [4] з рівня області до рівня

адміністративних районів і населених пунктів. На останньому етапі, відповідно до рекомендацій МГЗЕК [5], з використанням даних про теплотворні значення та коефіцієнти емісій для кожного виду палива, оцінюємо емісії двоокису вуглецю, метану та закису азоту для кожного населеного пункту та представляємо результати у вигляді цифрових карт. Детальніше, просторовий підхід до інвентаризації парникових газів у житловому секторі описано у [6].

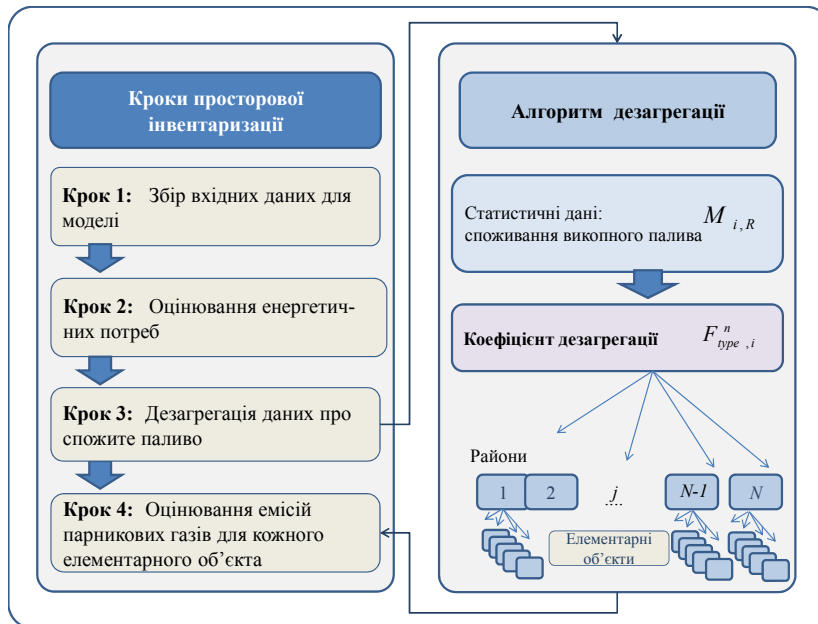


Рис. 2. Ілюстрація алгоритму розробленого підходу інвентаризації емісії парникових газів з деталізацією кроків дезагрегації

3. РЕЗУЛЬТАТИ ГЕОПРОСТОРОВОГО АНАЛІЗУ ЕМІСІЙ ПАРНИКОВИХ ГАЗІВ

Просторову інвентаризацію емісій парникових газів у житловому секторі Івано-Франківської області здійснено на рівні елементарних об'єктів, отриманих внаслідок «розрізання» карти адміністративних районів сіткою з кроком 2 км. Використовуючи можливості геоінформаційної системи було програмно реалізовано розроблений алгоритм, а на основі зібраних вхідних даних здійснено обчислювальні експерименти, результати яких зображено на рис. 3.

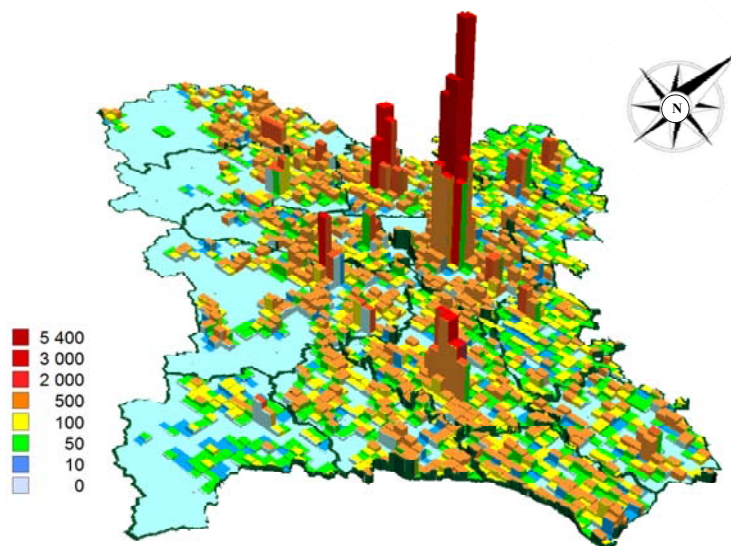


Рис. 3. Карта-призма питомих емісій парникових газів у житловому секторі (т/км², CO₂-еквівалент, сітка 2 км x 2 км, 2010 рік)

Рівень обладнання житлової площі доступом до централізованого опалення в Івано-Франківській області є низьким як у міській, так і в сільській місцевостях, у порівнянні з іншими областями, та становить 67,8% та 22,3%, відповідно. За рівнем доступу до централізованого газопостачання область є одним із лідерів у країні, у містах та селищах міського типу обладнано понад 91,9% житлової площі, а у селах – 81,9%.

Через свою доступність, природний газ є основним джерелом енергії для забезпечення побутових потреб населення області. Саме тому, у структурі емісій парникових газів у житловому секторі у 2010 році близько 95,59% емісій виникло від спалювання природного газу (978,94 Гг в CO₂-еквіваленті), від спалювання скрапленого газу - 2,21%, дров для опалювання - 1,58% та торф'яних брикетів - 0,61% (рис. 4).

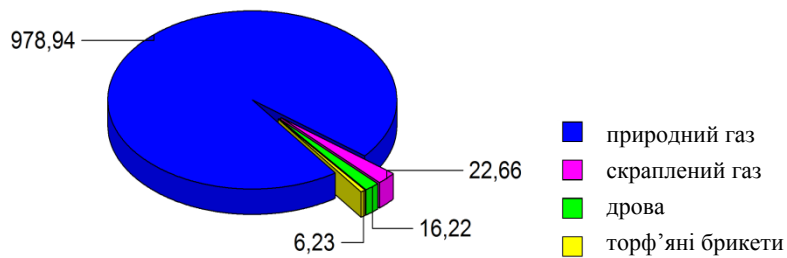


Рис. 4. Структура емісії парникових газів у житловому секторі за видами палива (Гг, CO₂-еквівалент, 2010 рік)

4. ВАЛІДАЦІЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ІНВЕНТАРИЗАЦІЇ

Важливим кроком при здійсненні просторової інвентаризації парникових газів у житловому секторі є перевірка адекватності розроблених математичних моделей, коректності використаних вхідних даних та правильності роботи створених програмних модулів. У цьому плані особливу увагу слід звертати на такі кроки як виділення обсягів палива, яке було спожите домогосподарствами, і просторова локалізація відповідних емісій. Саме тому, верифікація результатів аналізу полягає у співставленні даних, отриманих при дезагрегації, з доступними статистичними даними.

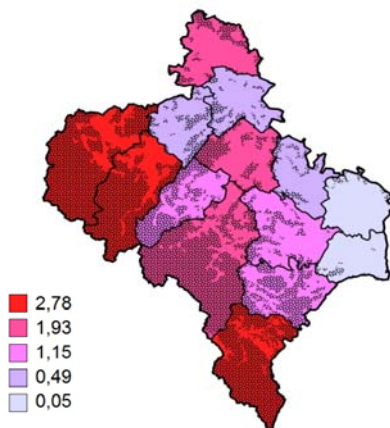


Рис. 5. Відношення статистичних даних про споживання дров до результатів моделювання на рівні районів (2010 рік)

Загалом, статистичний облік спожитого населенням палива в Україні здійснюється на рівні адміністративних областей, натомість

дані для районів чи населених пунктів у більшості випадків є недоступні. Однак, для Івано-Франківської області, у відповідь на запит про доступ до статистичної інформації, були отримані дані про споживання дров на рівні районів. Особливістю збору статистичної інформації в Україні є те, що облік спожитого палива ведеться відповідно до місця його реалізації. Саме тому, в тих районах, які є бідними на лісові ресурси, статистичні дані показують, що реалізація дров є низькою або взагалі відсутня. Ці дані не відображають реального використання дров для забезпечення енергетичних потреб населення, але разом з даними про рівень розвитку лісового господарства в районах, можуть бути використані для аналітичної верифікації алгоритму дезагрегації даних про споживання цього виду палива.

На кількість деревини, що була реалізована населенню в окремо взятому районі, впливає багато факторів, зокрема, енергетичні потреби домогосподарств, доступ до централізованих джерел енергії, попит на деревину, однак визначальним фактором є наявність лісового покриву у цьому районі та доступність цього джерела енергії для населення.

На рис. 5 зображено відмінність статистичних даних від результатів, отриманих у процесі дезагрегації даних про споживання дров. Візуальне представлення побудовано шляхом відображення відношення змодельованих до статистичних даних, при цьому діапазон значень $[0,1)$ свідчить про те, що статистичні дані «недооцінюють» реальне споживання дров, $(1, \infty)$ - «переоцінюють». Чорними крапками на карті показано територію області з лісовим покривом.

5. ОЦІНЮВАННЯ НЕВИЗНАЧЕНОСТІ ОТРИМАНИХ РЕЗУЛЬТАТІВ

Аналіз невизначеностей методом Монте-Карло полягає у здійсненні двох основних кроків. На першому кроці, використовуючи задані розподіли для кожного вхідного параметру математичної моделі (зокрема, величини спожитого палива, коефіцієнтів емісії, теплотворного значення палива) генеруються випадкові значення цих параметрів, які вводяться в модель, у результаті чого отримуємо величину емісії кожного парникового газу та сумарні емісії загалом для всіх видів палива. Перший крок здійснюємо відповідну кількість разів для досягнення необхідної точності. На другому кроці, з використанням отриманих випадкових значень, оцінюємо невизначеність емісій двоокису вуглецю, метану та закису азоту, а також сумарних емісій парникових газів у CO_2 -еквіваленті по видах

палива та загалом для всієї області. В табл. 1 наведено діапазони невизначеностей статистичних даних та коефіцієнтів емісії за основними типами палива, а теплотворні значення палива та їх межі невизначеностей подано в табл. 2.

Таблиця 1

Діапазони невизначеностей та тип розподілу для статистичних даних та коефіцієнтів емісії у житловому секторі

Тип палива	Невизначеності ¹⁾ (%)			
	Статистичні дані	Коефіцієнти емісії		
		CO ₂	CH ₄	N ₂ O
Тверде	±5 (N)	±4 (N)	30: +88 (L-N)	-70: + 245 (L-N)
Рідке	±15 (N)	±3,9 (N)	-50: +130 (L-N)	-66: + 270 (L-N)
Газ	±10 (N)	±5,2 (N)	-50: +130 (L-N)	-66: + 270 (L-N)
Біомаса	±25 (N)	±19,5 (N)	-66 :+160 (L-N)	-80: + 368 (L-N)

¹⁾в дужках додано тип розподілу значень: (N) – нормальний; (L-N) – логнормальний

Таблиця 2

Нижні теплотворні здатності палив та межі невизначеностей для палив, що використовуються у житловому секторі в Україні

Вид палива	Одиниця вимірювання	Нетто теплотворне значення	Невизначеність (%)	
			Нижня межа	Верхня межа
Кам'яне вугілля	ТДж/тис.т	21,34	17,26	25,74
Природний газ	ТДж/млн.м ³	33,85	32,79	35,54
Дрова для опалення	ТДж/тис.щ.м ³	7,81	3,96	18,60
Торф'яні брикети	ТДж/тис.т	10,02	8,20	13,10

Статистичні управління при зборі інформації про реалізацію палива населенню не оцінюють невизначеність цих даних. Відповідно до [5] в залежності від ступеню розвитку статистичної звітності в країні невизначеність даних може коливатися в межах від 5 до 15 %. У [7] вказано діапазони невизначеності для різних видів палива, де найменшою оцінено невизначеність при статистичному обліку кам'яного вугілля (±5%), найбільшою – при звітуванні про реалізацію

дров для опалювання ($\pm 25\%$), які були використані при оцінюванні невизначеності емісій парникових газів у цій роботі.

Використовуючи статистичні дані про реалізацію палива населенню, коефіцієнти емісій та теплотворні значення палив з заданими діапазонами невизначеності, в програмному середовищі R [8] були змодельовані величини емісій парникових газів по кожному виду палива, парниковому газу та сумарні емісії парникових газів у житловому секторі Івано-Франківської області. Оцінені невизначеності емісій парникових газів по видах палива представлено в табл. 3, а гістограми розподілів змодельованих випадкових величин по видах парникових газів та сумарних емісій зображено на рис. 6.

Таблиця 3

Результати оцінювання невизначеності емісій парникових газів у житловому секторі Івано-Франківської області (Гг, 2010 рік)

Вид палива	Емісії парникових газів (в CO ₂ -екв.)	Невизначеність, %	
		Нижня межа	Верхня межа
Природний газ	0,955	11,53	11,61
Кам'яне вугілля	0,021	12,78	13,25
Дрова для опалення	0,018	51,37	55,16
Торф'яні брикети	0,006	20,63	21,50

Найменша невизначеність емісій парникових газів від використання природного газу ($\pm 11,61\%$), найбільша невизначеність емісій від спалювання дров для опалювання – в межах $-51,37\%$ та $+55,16\%$. Це можна пояснити тим, що всі вхідні параметри для оцінювання емісій парникових газів від використання цього виду палива характеризуються високою невизначеністю, проте, оскільки в Івано-Франківській області частка енергії, що отримується від спалювання цього виду палива є незначною, висока невизначеність в оцінюванні емісій від спалювання цього виду палива суттєво не впливає на невизначеність сумарних результатів моделювання.

Оцінена величина емісій двоокису вуглецю на основі змодельованих випадкових величин – 995,97 Гг (невизначеність $\pm 11\%$, рис. 6), метану – 0,1 Гг ($-29,98\%$ - $+38,03\%$), закису азоту – $2,57 \cdot 10^{-3}$ Гг ($-35,50\%$ - $+48,26\%$). Невизначеність сумарних емісій парникових газів в CO₂-еквіваленті становить $\pm 11\%$ (1000,49 Гг).

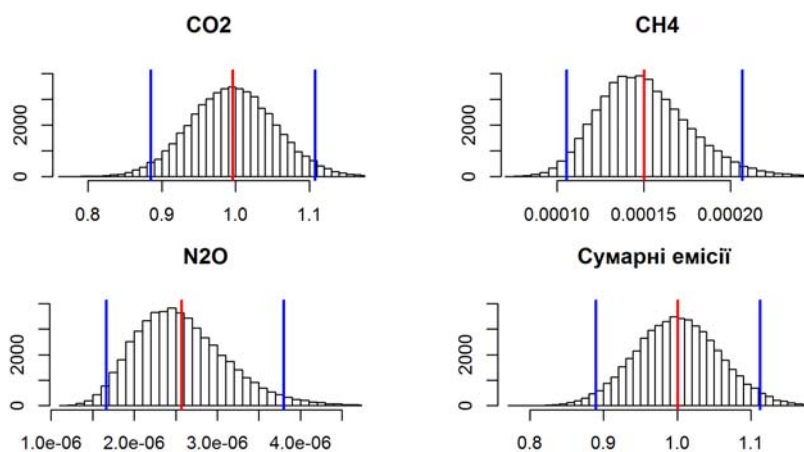


Рис. 6. Гістограми розподілу змодельованих величин емісії двоокису вуглецю, метану, закису азоту та сумарних емісій парникових газів (Гг, 2010 рік)

6. ВИСНОВКИ

Житловий сектор має значний потенціал для скорочення емісій парникових газів у порівнянні з іншими секторами, саме тому важливим є розроблення моделей, які б дали змогу не тільки оцінити емісії на національному чи регіональному рівні, але також і на рівні елементарних ділянок. У цій роботі запропоновано підхід до оцінювання емісій парникових газів у житловому секторі, який реалізований для Івано-Франківської області, використовуючи доступні статистичні дані. Результати отримано у вигляді геопросторових даних, які проілюстровано на дво- та тривимірних цифрових тематичних картах. Проаналізовано структуру емісій парникових газів за видами палива та парниковими газами. Здійснено валідацію розробленого підходу використовуючи дані про реалізацію дров населенню. Встановлено, що статистичні дані на рівні районів не відображають реального споживання дров для опалення. Використовуючи метод Монте-Карло, оцінено невизначеність емісій парникових газів, яка становить $\pm 11\%$.

1. *The Keeling Curve // The Keeling Curve [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://scripps.ucsd.edu/programs/keelingcurve/> (дата доступу: 29.12.2014).*
 2. Данило О.Я. Цифрова карта населення України адаптована для проведення просторової інвентаризації парникових газів / О. Я. Данило, Р. А. Бунь // Тези доп. Третьої Міжнар. наук.-практ. конф. „Інформаційні

технології та комп'ютерна інженерія". – Вінниця : ВНТУ, 2012. – С. 87-88.3. Чисельність наявного населення України станом на 1 січня 2011 року: Статистичний збірник. – Державний комітет статистики України. - Київ, 2011. – 112 с4. Головне управління статистики у Івано-Франківській області [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.if.ukrstat.gov.ua> 5. IPCC Guidelines for National GHG Inventories / H. S. Eggleston, L. Buendia, K. Miwa, eds. // [IPCC]. – Institute for Global Environmental Strategies, Hayama, Kanagawa, Japan. – 2006.6. Данило О. Я. Моделювання емісії парникових газів у житловому секторі Західної України з використанням геоінформаційних технологій / Данило О. Я., Ксу Ксіангянг, Бунь Р. А., Лесів М. Ю. // Вісник Львівського державного ун-ту безпеки життєдіяльності. – 2014. – № 9. – С. 130-136.7. Гамаль Х. В. Геоінформаційна технологія для просторового аналізу парникових газів в енергетичному секторі : дис. канд. техн. наук : 05.13.06 / Гамаль Христина Володимирівна. – Львів : Національний ун-т «Львівська політехніка», 2009. – 246 с.8. R: A language and environment for statistical computing. – R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria, 2013. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.R-project.org/>.