

## ПРОСТОРОВИЙ АНАЛІЗ ЕМІСІЇ ПАРНИКОВИХ ГАЗІВ ВІД ЛІНІЙНИХ ОБ'ЄКТІВ: ТРАНСПОРТНИЙ СЕКТОР ПІДКАРПАТСЬКОГО ВОЄВОДСТВА

*Summary.* An approach for spatial analysis of greenhouse gas emissions from line-type sources has been created. It is illustrated on the transport sector of Subcarpathian voivodeship in Poland. The algorithm for disaggregation of statistical data on the fuel used to the level of elementary sections of roads of various types, which takes into account the traffic intensity of various categories of vehicles, has been proposed. The geospatial database has been completed, and computational experiments have been performed, that result in values of specific emissions of carbon dioxide, methane and nitrous oxide from the use of gasoline, diesel fuel, and natural gas. The results are visualized in the form of digital maps.

*Keywords:* greenhouse gas emission, transport sector, linear source of emission, mathematical modeling, Subcarpathian voivodeship.

*Анотація.* Обґрунтовано підхід до просторового аналізу емісії парникових газів від лінійних джерел, застосування якого проілюстровано на прикладі транспортного сектору Підкарпатського воєводства Польщі. Запропоновано алгоритм дезагрегації статистичних даних про спожите паливо до рівня елементарних ділянок автомобільних доріг різних типів, який враховує інтенсивність руху транспортних засобів різноманітних категорій. Сформовано базу геопросторових вхідних даних та здійснено обчислювальні експерименти, у результаті яких знайдено величини емісій діоксиду вуглецю, метану та закису азоту від використання бензину, дизельного палива та газу. Отримані результати візуалізовано у вигляді цифрових карт.

*Ключові слова:* емісія парникових газів, транспортний сектор, лінійне джерело емісії, математичне моделювання, Підкарпатське воєводство.

*Вступ.* Останнє століття ознаменувалося бурхливим розвитком технологій, що негативно позначається на навколишньому середовищі. Поступове збільшення середньорічної температури призводить до різких змін клімату, що супроводжується появою непередбачуваних погодних явищ. Глобальна зміна клімату є не лише екологічною проблемою, а й становить велику загрозу життю людини та її діяльності [1].

Усвідомлюючи наслідки глобального потепління, світове наукове співтовариство докладає значних зусиль, щоб стабілізувати цей процес та зменшити вплив людської діяльності на нього. Саме з цією метою створено

---

<sup>1</sup> Національний університет "Львівська політехніка"

<sup>2</sup> Академія бізнесу в м.Домброва Гурніча, Польща

<sup>3</sup> Міжнародний інститут прикладного системного аналізу, Лаксенбург, Австрія

Міжнародну групу експертів зі зміни клімату (МГЕЗК, англ. – Intergovernmental Panel on Climate Change – IPCC), завданням якої є надання рекомендацій керівникам держав з вирішення найбільш гострих екологічних проблем [2], у тому числі оцінювання емісій парникових газів [3].

Методики МГЕЗК фактично визначають базові співвідношення для оцінювання емісій парникових газів (їх інвентаризації) на національному рівні для будь-яких типів джерел. Проте, для ряду застосувань доцільно здійснювати просторовий аналіз емісій, який прив'язує емісії до місць їх виникнення [4].

Суттєві емісії парникових газів спричиняє транспортний сектор. У цьому секторі джерелами емісій є автомобільні транспортні засоби. Оскільки дослідження емісії від функціонування кожного окремо взятого автомобіля є практично нереальною задачею, тому прийнято джерелами емісій від діяльності дорожнього транспорту вважати дороги та автошляхи, по яких рухається автотранспорт. Тому такі джерела емісії відносять до лінійних, тобто таких, які у просторовій системі координат можна представити у вигляді ліній.

Просторовому аналізу емісій у транспортному секторі присвячено ряд праць, зокрема публікація [5], у якій інвентаризацію здійснюють на рівні сітки з кроком 2 км. Метою цієї статті є представлення підходу до просторового моделювання та аналізу емісій парникових газів у транспортному секторі саме на рівні лінійних джерел з врахуванням типів доріг та видів автотранспорту, а також імплементація цього підходу для Підкарпатського воєводства Польщі.

*Деагрегація даних про спожите паливо.* У загальному, рівень емісій парникових газів від кожної елементарної ділянки дороги залежить від обсягів спожитого (спаленого автотранспортом) палива у її межах. Тому перед проведенням просторової інвентаризації емісій парникових газів від діяльності дорожнього транспорту – для отримання вхідних даних – необхідно розподілити агреговані дані про обсяги спалювання палива автотранспортом, зокрема у Підкарпатському воєводстві Польщі, по усіх джерелах емісій – автомобільних дорогах усіх типів.

Дороги Підкарпатського воєводства поділяють:

- за категоріями: національні, регіональні, районні та муніципальні;
- за типом: автомагістралі (тип 1), швидкісні з двостороннім рухом (2), швидкісні з одностороннім рухом (3), з двостороннім рухом до 11,5 т/вісь (4), з одностороннім рухом до 11,5 т/вісь (5), з двостороннім рухом до 10 т/вісь (6), з одностороннім рухом до 10 т/вісь (7), з двостороннім рухом до 8 т/вісь (8), з одностороннім рухом до 8 т/вісь (9), з двостороннім рухом (10), з одностороннім рухом (11), інші дороги з твердим покриттям (12), ґрунтові (13) та міські (14).

Деагрегацію статистичних даних про використане паливо здійснюємо за вказаними типами доріг та видами автомобільного транспорту:

моторолери, мотоцикли, легкові автомобілі, автобуси та інші на основі такого алгоритму:

1) використовуючи дані про кількість транспортних засобів різних видів у Підкарпатському воєводстві [6] та дані про спожите на рівні країни паливо кожного виду на діяльність автомобільного транспорту [7], обчислюємо відповідну кількість палива для аналізованого воєводства;

2) дані про усе паливо, використане на діяльність дорожнього транспорту в Підкарпатському воєводстві, розділяємо по видах транспорту та видах палив (див. табл. 1, сформовану на основі експертної оцінки фахівців автомобільного транспорту), тобто в залежності від частки автомобілів певного виду та палива, яким вони користуються;

Таблиця 1. Структура використання палив за видами транспортних засобів у Польщі

Частка використання палива, %			
	Бензин	Дизпаливо	LPG
Моторолери	5	0	0
Мотоцикли	15	0	0
Легкові автомобілі	77	30	87
Автобуси	1	35	3
Спеціальні авто	2	35	10

3) на основі відносних коефіцієнтів інтенсивності автомобільних потоків (див. табл. 2, сформовану таким же чином як і табл. 1) визначаємо відносні коефіцієнти розподілу автомобільних потоків.

Відповідно до зазначеного вище розподілу автомобільних потоків, дезагрегацію офіційних статистичних даних про використане паливо до рівня елементарних ділянок доріг здійснюємо за таким алгоритмом. Спочатку визначаємо кількість спожитого палива, що припадає на 1 км дороги з одиничним коефіцієнтом інтенсивності автомобільного руху, для кожного виду транспорту:

$$V^* = \frac{V}{\sum_{i=1}^m L_i k_i},$$

де  $V$  – загальний обсяг палива, використаного у воєводстві;  $L_i$  – загальна довжина доріг  $i$ -го виду;  $k_i$  – відносний коефіцієнт інтенсивності автомобільних потоків для дороги  $i$ -го виду (табл. 2);  $m$  – кількість видів доріг у воєводстві. Далі визначаємо кількість використаного палива в межах елементарного об'єкта (елементарного відрізка дороги як лінійного джерела емісії):

$$V_n = V^* l_n k_i, \quad n = 1, N, i = 1, m,$$

де  $n$  – номер ділянки дороги,  $l_n$  – її довжина.

Таблиця 2. Відносні коефіцієнти інтенсивності автомобільних потоків (умовні одиниці на 1 км дороги)

Вид дороги	Типи транспортних засобів				
	Моторолери	Мотоцикли	Легкові автомобілі	Автобуси	Спеціальні автомобілі
1	0	1	50	7	22
2	0	1	45	5	21
3	0	1	15	3	6
4	0	2	42	9	7
5	0	0	15	2	3
6	0	1	30	5	19
7	0	0	10	2	4
8	0	2	28	4	17
9	0	1	10	1	2
10	0	3	20	4	8
11	0	1	6	1	2
12	1	3	9	2	1
13	1	0	0	0	3
14	4	6	20	2	0

*Результати дезагрегації даних про використане паливо.* Вхідними даними для програмної реалізації математичної моделі емісії парникових газів є статистичні дані, цифрові карти, теплотворні значення палива та коефіцієнти емісії. Для реалізації представленого вище алгоритму дезагрегації даних про використане автотранспортом паливо у Підкарпатському воєводстві Польщі до загальної бази даних цифрової карти доріг воєводства додано такі шари:

- len\_road – містить інформацію про довжину кожної ділянки дороги; для обчислення довжини необхідно створити SQL-запит та використати функцію ObjectLen, яка автоматично шукає вказану довжину, та присвоїти новоствореній колонці обчислені значення довжин;
- zah\_dovz – містить інформацію про загальну довжину доріг кожного виду;
- колонки – koef\_motor, koef\_motoc, koef\_lehkavto, koef\_avtobus та koef\_spec – містять дані із табл. 2, тобто відносні коефіцієнти інтенсивності автомобільних потоків (на 1 км дороги відповідного виду); заповнення цих колонок здійснювалось написанням SQL-запитів у середовищі MapBasic; для прикладу, один із таких запитів:

Select\* From Dorohy Where typ\_drogi="9" into b //копіюємо усі

стовпці із таблиці *Dorohy*, де тип дороги=9;

Update b set koef\_lehkavto=10 //присвоюємо коефіцієнт інтенсивності легкових автомобілів для заданого виду дороги – 10;

Browse \* From b //відкриваємо новостворену таблицю b;

оскільки дві таблиці пов'язані, то дані із таблиці b автоматично копіюються у таблицю *Dorohy*; аналогічні дії виконуємо для заповнення решти колонок типовими даними;

- колонки – v\_b\_motor, v\_b\_motoc, v\_b\_lehkavto, v\_b\_avtobus, v\_b\_spec – містять інформацію про кількість використаного бензину, різними видами автотранспорту на кожному відрізьку дороги (рис. 1).

	v_dyz_motoc	v_dyz_lehkavtc	v_dyz_avtobus	v_dyz_spec	v_lpg_motor	v_lpg_motoc	v_lpg_lehkavto	v_lpg_avtobus	v_lpg_spec
<input type="checkbox"/>	0,0512451	0,855271	0,589313	0,781251	0	0,00932576	0,451371	0,00306415	0,0430833
<input type="checkbox"/>	0,162218	5,6855	8,39468	4,32787	0	0,029521	3,00054	0,0436484	0,238667
<input type="checkbox"/>	0,426245	14,9393	22,058	11,372	0	0,0775697	7,88426	0,114691	0,627126
<input type="checkbox"/>	0,287062	10,0611	14,8553	7,65865	0	0,0522406	5,30979	0,0772407	0,422348
<input type="checkbox"/>	0,510912	17,9068	26,4394	13,6308	0	0,0929776	9,45034	0,137473	0,751694
<input type="checkbox"/>	0,122267	4,28528	6,32725	3,26201	0	0,0222506	2,26157	0,0328987	0,179889
<input type="checkbox"/>	0,0837411	2,93501	4,33356	2,23416	0	0,0152395	1,54896	0,0225325	0,123206
<input type="checkbox"/>	0,556365	19,4998	28,7916	14,8435	0	0,101249	10,2911	0,149703	0,818568
<input type="checkbox"/>	0,0588376	2,06218	3,04482	1,56975	0	0,0107075	1,08832	0,0158316	0,0865665
<input type="checkbox"/>	0,076565	2,6835	3,9622	2,04271	0	0,0139336	1,41622	0,0206016	0,112648
<input type="checkbox"/>	0,124865	4,37636	6,46173	3,33134	0	0,0227235	2,30964	0,033598	0,183712
<input type="checkbox"/>	0,376475	13,1949	19,4824	10,0441	0	0,0685123	6,96366	0,101299	0,5539
<input type="checkbox"/>	0,153542	5,38145	7,94574	4,09642	0	0,0279422	2,84007	0,0413141	0,225904
<input type="checkbox"/>	0,605739	3,0329	4,64396	1,53912	0	0,110235	1,60062	0,0241464	0,0848773
<input type="checkbox"/>	1,14217	5,71877	8,75653	2,90213	0	0,207856	3,01809	0,0455298	0,160042

Рис. 1. Фрагмент бази геопросторових даних про використання різних видів палив на рівні елементарних ділянок автомобільних доріг

Як приклад, на рис. 2 показано сумарне питоме використання дизельного палива на кожному відрізьку дороги усіма видами автомобільних транспортних засобів в аналізованому воєводстві.

*Математична модель.* Для визначення питомої емісії парникових газів (емісії, що спричинена 1 км дороги) в еквіваленті  $CO_2$  при спалюванні бензину використовуємо модель:

$$E_{n,CO_2}^p = \frac{1}{l_n} V_n T (k_{e,CO_2} K_{gwp,CO_2} + k_{e,CH_4} K_{gwp,CH_4} + k_{e,N_2O} K_{gwp,N_2O})$$

де  $V_n$  – обсяг палива, яке спалено на  $n$ -й елементарній ділянці;  $T$  – нетто теплотворна здатність палива;  $k_{e,CO_2}$ ,  $k_{e,CH_4}$ ,  $k_{e,N_2O}$  – коефіцієнти емісії  $CO_2$ ,  $CH_4$  та  $N_2O$ , відповідно;  $K_{gwp,CO_2}$ ,  $K_{gwp,CH_4}$ ,  $K_{gwp,N_2O}$  – глобальні потенціали потепління для  $CO_2$ ,  $CH_4$  та  $N_2O$ , відповідно;  $l_n$  – довжина відповідної ділянки дороги в межах  $n$ -го елементарного об'єкта.

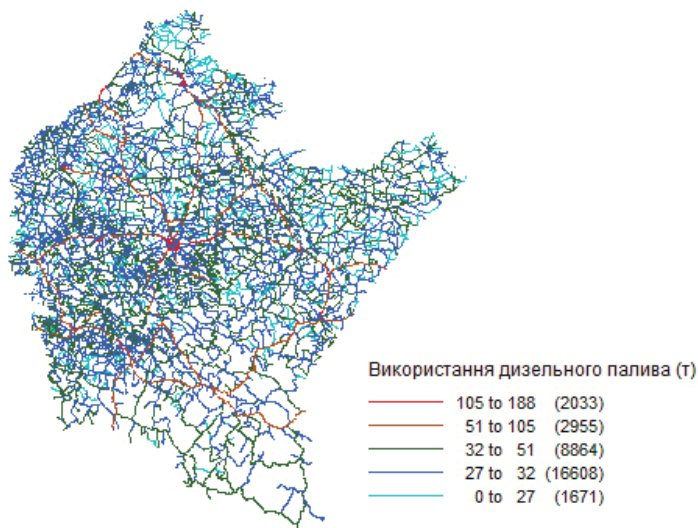


Рис. 2. Сумарне питоме використання дизпалива усіма видами автотранспорту у Підкарпатському воєводстві (2012 р., т/км)

Аналогічно визначаємо питомі емісії парникових газів від використання дизельного палива та природного газу. Просумувавши отримані результати, отримуємо загальну питому емісію парникових газів у  $CO_2$ -еквіваленті для автотранспорту Підкарпатського воєводства.

*Результати просторового аналізу.* У результаті програмної реалізації розроблених алгоритмів та моделей, а також здійснених обчислювальних експериментів отримано геопросторові дані (рис. 3) про емісії парникових газів від транспортного сектору на території Підкарпатського воєводства Польщі. Зокрема, знайдено узагальнені характеристики емісій  $CO_2$ ,  $CH_4$ ,  $N_2O$  при спалюванні автомобільним транспортом бензину, дизельного палива та природного газу. Ці результати візуалізовано на рис. 4.

emis_b_CO	emis_b_CH	emis_b_NO	emis_dyz_CO	emis_dyz_CH	emis_dyz_NO	emis_lpg_CO	emis_lpg_CH	emis_lpg_NO
3 670,74	0,753868	0,139818	7 218,4	0,369997	0,335464	1 535,37	0,457377	0,00486571
22 648,2	4,65131	0,862666	58 868,21	3,01744	2,73581	10 034,11	2,98909	0,0317988
59 510,73	12,2219	2,26675	154 682,92	7,92866	7,18865	26 365,77	7,85417	0,083555
40 078,51	8,23102	1,52658	104 173,84	5,33969	4,84132	17 756,48	5,28952	0,0562715
71 331,57	14,6495	2,71701	185 408,18	9,50356	8,61656	31 602,91	9,41427	0,100152
17 070,42	3,50579	0,650209	44 370,2	2,27431	2,06204	7 562,92	2,25294	0,0239674
11 691,61	2,40113	0,445331	30 389,34	1,55768	1,4123	5 179,88	1,54305	0,0164154
77 677,52	15,9528	2,95872	201 902,85	10,349	9,38313	34 414,43	10,2518	0,109062
8 214,68	1,68707	0,312896	21 351,95	1,09445	0,992299	3 639,45	1,08416	0,0115337
10 689,71	2,19537	0,407169	27 785,16	1,4242	1,29127	4 735,99	1,41082	0,0150087
17 433,23	3,5803	0,664029	45 313,23	2,32264	2,10586	7 723,66	2,30082	0,0244768
52 562,03	10,7948	2,00208	136 621,55	7,00288	6,34928	23 287,21	6,93709	0,0737988

Рис. 3. Фрагмент бази геопросторових даних із значеннями емісій

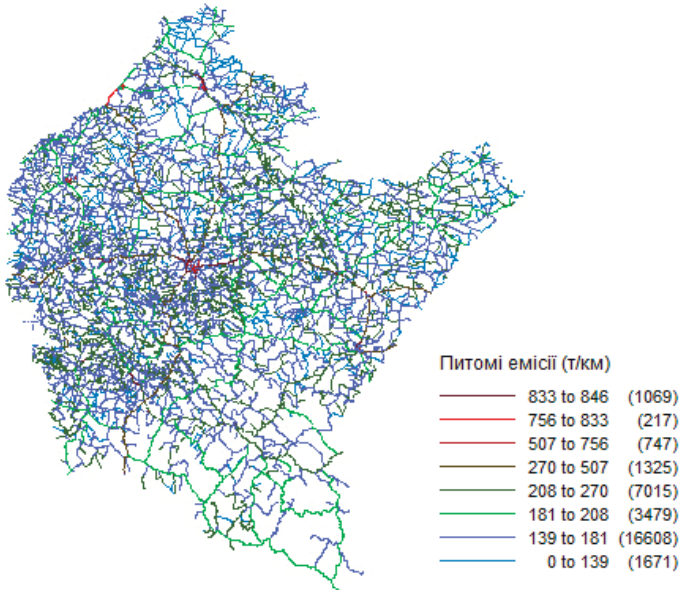


Рис. 4. Сумарні питомі емісії парникових газів усіма видами транспортних засобів у Підкарпатському воєводстві (2012 р.,  $CO_2$ -еквівалент,  $t_{CO_2}/km$ )

Показано, що емісії від дорожнього транспорту досить щільно розподілені по всій території Підкарпатського воєводства, проте рівень емісій є значно вищим на територіях, де зосереджені великі автомобільні мережі (наприклад, міста регіонального підпорядкування) та основні транспортні вузли.

Емісії вуглекислого газу є в декілька разів вищими у порівнянні з емісіями інших парникових газів, але вони мають менший вплив на глобальне потепління. Емісії метану і закису азоту переведено в еквівалент  $CO_2$ , використовуючи відповідні коефіцієнти: 1 – для вуглекислого газу, 25 – для метану, 298 – для закису азоту.

*Висновки.* Запропоновані алгоритми та математична модель дали можливість здійснити просторовий аналіз емісії парникових газів у транспортному секторі Підкарпатського воєводства Польщі, використовуючи цифрову карту мережі автомобільних доріг, як множини лінійних джерел емісії. Розроблений підхід до дезагрегації статистичних даних про використане паливо у транспортному секторі цього воєводства може бути застосований для просторової інвентаризації як для окремих регіонів чи воєводств, так і для країни в цілому. Отримана база геопросторових даних з результатами інвентаризації дає змогу аналізувати емісії парникових газів за видами доріг, видами палив та категоріями транспортних засобів, порівнювати окремі ділянки доріг між собою та візуалізувати отримані результати у вигляді тематичних карт.

1. Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change / R. Pachauri, L. Meyer, eds. – Geneva, Switzerland : IPCC, 2014. – 151 p.
2. Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change / Core Writing Team, R.K. Pachauri, L.A. Meyer, eds. – IPCC : Geneva, Switzerland, 2014. – 151 p.
3. IPCC Guidelines for National GHG Inventories / H. S. Eggleston, L. Buendia, K. Miwa, eds. – Institute for Global Environmental Strategies, Hayama, Kanagawa, Japan, 2006.
4. Бунь Р.А. Інформаційні технології просторової інвентаризації парникових газів у енергетичному секторі та аналіз невизначеності/ Р.А.Бунь, Х.В.Бойчук, А.Р.Бунь, М.Ю.Лесів. – Львів : ПП Сорока Т., 2012. – 464 с.
5. Boychuk P. Spatial analysis of greenhouse gas emissions in road transport of Poland / P. Boychuk, Z. Nahorski, Kh. Boychuk, J. Horabik // EconTechMod. – 2012. – V. 1, N. 4. – P. 9-15.
6. Urząd Statystyczny w Rzeszowie [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://rzeszow.stat.gov.pl/>
7. National Inventory Submissions: 2003-2014 / [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [http://unfccc.int/national\\_reports/annex\\_i\\_ghg\\_inventories/national\\_inventories\\_submissions/items/8108.php](http://unfccc.int/national_reports/annex_i_ghg_inventories/national_inventories_submissions/items/8108.php).

Поступила 7.9.2015р.

УДК 519.816

Є. С. Струк, Р. В. Дубленич, м.Львів

## **АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА ПОСЕЛЕННЯ СТУДЕНТІВ В ГУРТОЖИТКИ СТУДМІСТЕЧКА**

*Abstract.* Described a decision support system for optimal allocation of students into student hostels.

*Анотація.* Описано розроблену автоматизовану систему підтримки і прийняття рішень для задач оптимального розміщення студентів в гуртожитки студмістечка.

*Ключові слова:* автоматизація, система підтримки і прийняття рішень, гуртожиток, HiAsm, візуальне програмування.

*Key words:* a decision support system, automatization, hostels, HiAsm, visual programming

### **Вступ**

Проблема поселення студентів в гуртожитки зумовлена не лише складністю процесу. Критичність прийняття рішень пояснюється обмеженим часом після зарахування в університет і потребою враховувати об'єктивні критерії для кожного студента.