

5. Зеляновський М.Ю., Тимченко О.В. Засоби для моделювання спеціалізованих та сенсорних мереж бездротового доступу: симулятор SHAWN // Моделювання та інформаційні технології. Зб. наук. пр. ПІМЕ НАН України. – Вип.54. – К.: 2009. – С. 52-62.

6. Зеляновський М.Ю., Тимченко О.В. Математичні моделі для спеціалізованих та сенсорних мереж бездротового доступу // Моделювання та інформаційні технології. Зб. наук. пр. ПІМЕ НАН України. – Вип.50. – К.: 2009. – С. 192-200.

Поступила 18.08.2010р.

УДК 004.942

М.Ю. Лесів¹

АНАЛІЗ ЗМІН В НЕВИЗНАЧЕНОСТЯХ РЕЗУЛЬТАТИВ ІНВЕНТАРИЗАЦІЇ ПАРНИКОВИХ ГАЗІВ ВІД СПАЛЮВАННЯ ВИКОПНОГО ПАЛИВА

Summary. Mathematical apparatus for analysis of changes in uncertainties in results of greenhouse gas inventory due to increased knowledge of emission processes and structural changes in emissions is presented. Historical change in uncertainty is analyzed; projections of uncertainty are made for 15 European Union Member States for the year 2020 using today's knowledge of emission processes and different emission scenarios.

Keywords: uncertainty, greenhouse gas inventory, energy sector, fossil fuel.

Анотація. Представлено математичний апарат для аналізу змін в невизначеностях результатів інвентаризації парникових газів, викликаних як покращенням знань про емісійні процеси, так і структурними змінами в емісіях. Проаналізовано зміни в невизначеностях інвентаризацій у минулому, а також здійснено прогнозування невизначеності інвентаризацій для 15 країн Європейського Союзу на 2020 рік, використовуючи теперішні знання про емісійні процеси та різноманітні емісійні сценарії.

Ключові слова: невизначеність, інвентаризація парникових газів, енергетичний сектор, викопне паливо.

Вступ. Сьогодні немає достатньо досвіду для оцінювання невизначеностей результатів інвентаризації парникових газів. Тому актуальними є дослідження, які дають можливість зрозуміти причини зміни невизначеностей у минулому, а це, в свою чергу, дозволить прогнозувати невизначеності результатів інвентаризації у майбутньому, а також покращити

¹ Національний університет "Львівська політехніка"

процес встановлення відповідних міжнародних зобов'язань, що стосуються зменшення емісій парникових газів.

Величина загальної невизначеності змінюється з року в рік у результаті дії двох факторів: покращення знань про емісійні процеси та в результаті структурних змін в емісіях парникових газів. Вперше ці дві причини змін у невизначеностях розглянула Гамаль Х.В. у 2009 році в праці [1], в якій дано оцінку зміни у невизначеностях емісій вуглекислого газу в цілому для Євросоюзу з врахуванням систематичних похибок. Результати показали, що приблизно 95% змін у невизначеностях у період з 1990 по 2005 роки спричинені покращенням знань про інвентаризаційні процеси, та лише 5 % – структурними змінами в емісіях парникових газів. Метою цієї статті є представлення математичного апарату, який дає можливість аналізувати динаміку зміни невизначеності інвентаризації у минулому на рівні окремих країн, а також прогнозувати невизначеності на основі різних сценаріїв змін у структурі використовуваного викопного палива і, відповідно, змін у структурі емісій парникових газів.

Оцінка загальної невизначеності. Відповідно до рамкової Конвенції ООН про зміну клімату (РКЗК ООН) країни щорічно звітують емісії парникових газів, обчислені за методиками, розробленими міжнародною групою експертів з питань зміни клімату (IPCC). Країни також додають до своїх звітів оцінки невизначеностей результатів інвентаризації парникових газів. Емісії вуглекислого газу від спалювання викопного палива є найбільш точними (їх невизначеність коливається в межах $\pm 5\%$).

Невизначеності емісій вуглекислого газу від спалювання викопного палива обчислюють за такими кроками:

- обчислюють емісії оксиду вуглецю на основі сценаріїв споживання викопного палива за конкретний рік;
- обчислюють загальну невизначеність методом „об’єднання” невизначеностей емісій від спалювання різних видів викопного палива, використовуючи теперішні знання про емісійні процеси.

Згідно методик IPCC, емісії вуглекислого газу від спалювання викопного палива обчислюють за формулою:

$$E = D_{stat} W_{en} K_C F_C, \quad (1)$$

де E – емісії, D_{stat} – статистичні дані про кількість використаного викопного палива, т; W_{en} – кількість енергії, яка виділяється при спалюванні 1 т речовини, Дж/т; K_C – емісії вуглекислого газу на одиницю отриманої енергії, Гг/Дж; F_C – коефіцієнт окислення вуглецю. Для більшості випадків припускають, що 100% вуглецю у паливі окислюється (у випадку спалювання вугілля, нафтопродуктів, природного газу та торфу).

Загальна невизначеність емісій вуглекислого газу від спалювання викопного палива обчислюється на основі прогнозів споживання палива та відповідних емісій. Припущене, що невизначеність вхідних даних про

кількість спожитого палива D_{stat} та невизначеність емісійних факторів $W_{en} K_C$ не змінюються з часом для окремих видів палива.

В цьому дослідженні всі вхідні дані (емісійні фактори для різних видів палива) взято з таблиць IPCC; емісії парниковых газів та відповідні невизначеності – з національних інвентаризаційних та щорічних європейських звітів [2, 3].

Для „об’єднання” відносних невизначеностей використовують наступні формули в залежності від арифметичних операцій [4]:

- при операції множення N невизначених величин x_i , $i = \overline{1, N}$:

$$U = \sqrt{U_1^2 + \dots + U_N^2}, \quad (2)$$

де U_i – відносна невизначеність величини x_i , U – відносна невизначеність добутку;

- при операції додавання N невизначених величин x_i , $i = \overline{1, N}$:

$$U = \frac{\sqrt{(U_1 x_1)^2 + \dots + (U_N x_N)^2}}{|x_1 + \dots + x_N|}. \quad (3)$$

При застосуванні формул (2) та (3) не враховується кореляція між роками, оскільки загальну невизначеність обчислюють у певний момент часу в майбутньому. Також не враховується кореляція між емісіями від спалювання окремих видів палива.

Формула (2) використовується для об’єднання невизначеностей статистичний даних та емісійних факторів, натомість формула (3) – для об’єднання невизначеностей емісій від спалювання різних видів палива.

Вплив окремих факторів на загальну невизначеність. Загальна невизначеність результатів інвентаризації парниковых газів змінюється з часом у результаті структурних змін в емісіях парниковых газів та покращення знань про емісійні/інвентаризаційні процеси. Для обчислення загальної невизначеності використовують формули (2) та (3), які не враховують кореляції між аналізованими величинами. Проте, для емісій від спалювання викопного палива в різних під-секторах енергетичного сектору кореляція може бути суттєвою, тому що для одного і того самого палива використовують однакові емісійні фактори. Тому статистичні дані по споживанню окремих видів палива об’єднують в одну суму.

В цьому дослідженні використано елементи детермінованого факторного аналізу для аналізу впливу окремих факторів на величину загальної невизначеності у минулому [5].

Формулу (3) для обчислення загальної (відносної) невизначеності можна представити у вигляді:

$$U = f(k_{frac,1}, U_1, \dots, k_{frac,n}, U_n) = \sqrt{\sum_{i=1}^n (k_{frac,i} U_i)^2}, \quad (4)$$

де U – загальна невизначеність; n – кількість змінних величин (кількість під-секторів); $k_{frac,i} = x_i / \sum_{i=1}^n x_i$ – частка від загальних емісій, яку складають емісії i -го під-сектору, причому $\sum_{i=1}^n k_{frac,i} = 1$; U_i – відносна невизначеність емісій x_i в i -му під-секторі.

Зміну загальної відносної невизначеності можна представити у вигляді :

$$\Delta U = \Delta U_L + \Delta U_S, \quad (5)$$

де ΔU_L – абсолютна зміна відносної невизначеності спричинена покращенням знань про емісійні процеси; ΔU_S – абсолютна зміна відносної невизначеності спричинена структурними змінами в емісіях.

Оскільки кореляція між змінними величинами x_i , $i = \overline{1, n}$ відсутня, то зміну загальної невизначеності ΔU_L можна записати як суму змін внесених кожним під-сектором:

$$\Delta U_L = \sum_{i=1}^n \Delta U_{Li}, \quad (6)$$

де ΔU_{Li} – внесок у зміну загальної невизначеності у результаті покращення знань про емісійні процеси в i -му під-секторі. Цей внесок обчислюється як різниця між загальною невизначеністю у звітованому році та невизначеністю, обчисленою з припущенням, що невизначеність емісій в i -му під-секторі є постійною:

$$\Delta U_{Li} = U - U|_{i,const}, \quad (7)$$

де $U|_{i,const}$ – загальна невизначеність в кінці досліджуваного періоду, при умові, що невизначеність емісій i -го під-сектору не змінювалась з часом.

У табл. 1 наведено приклад аналізу змін у загальній невизначеності емісій вуглексілого газу від спалювання викопного палива стаціонарними джерелами. У результаті проведеного аналізу для Фінляндії, виявилося що лише приблизно 2% змін у загальній невизначеності спричинено змінами в структурі споживання палива.

Результати. Аналіз невизначеностей результатів інвентаризації парникових газів здійснено для 15 країн Європейського Союзу. Зокрема, досліджено динаміку зміни загальної невизначеності інвентаризації усіх парникових газів (в CO_2 еквіваленті), а також більш детально розглянуто невизначеності результатів інвентаризації вуглексілого газу в енергетичному секторі. Вхідні дані використано з щорічних європейських інвентаризаційних

звітів [3], а саме: емісії парникових газів на рівні під-секторів та відповідні невизначеності.

Таблиця 1
Аналіз змін у загальній невизначеності для Фінляндії

Викопне паливо	Структура емісій ($k_{frac,i}$)		Звітована невизначеність (U_i), %		Невизначеність як частка в загальних емісіях, $k_{frac,i}U_i$ %		ΔU_{Li} , %
	2000	2008	2000	2008	2000	2008	
Природний газ	0.14	0.15	1.41	1.41	0.20	0.22	0
Нафта	0.43	0.45	2.83	2.83	1.22	1.28	0
Кам'яне вугілля	0.28	0.23	3.35	10.13	0.93	2.31	1.00
Інші види палива	0.15	0.17	6.40	6.59	0.97	1.09	0.01
Всього	1,00	1,00	Загальна невизначеність:		1.83	2.86	1.01

Зміна загальної невизначеності за період 2000-2008: 1.03 %
 Зміна загальної невизначеності у результаті структурних змін в емісіях: 1.91 %

Узагальнені дані про невизначеність результатів інвентаризації парникових газів охоплюють короткий період часу (2005-2008 роки). Тому доцільно розглядати динаміку зміни невизначеностей на рівні окремих країн. Використовуючи елементи детермінованого факторного аналізу, досліджено вплив окремих факторів на загальну невизначеність (табл. 2). Зокрема, у випадку Італії та Франції, зміну загальної невизначеності можна пояснити тільки структурними змінами у емісіях (зміни у структурі споживання викопного палива); для Австрії та Фінляндії – дією двох факторів, а саме покращенням знань про емісійні процеси та структурними змінами в емісіях. Причому, у випадку Фінляндії на 98% зміни у невизначеності спричинені покращенням знань про емісійні процеси.

На основі отриманих результатів про фактори впливу на величину невизначеності зроблено прогнози, використовуючи емісійні сценарії GAINS, розроблені в Міжнародному інституті прикладного системного аналізу (Австрія) для прогнозування емісій парникових газів та інших забруднювачів повітря [6]. Результати наведено на рис. 1.

Таблиця 2

Аналіз впливу структурних змін в емісіях вуглевислого газу на загальну невизначеність для країн Євросоюзу

Країна	Період, за який доступні дані	Частка впливу змін в структурі споживання палива на загальну невизначеність, %	Ефект змін в структурі споживання палива на загальну невизначеність
Австрія	2003-2008	60 %	Зростання
Бельгія	2004-2008	100 %	Зростання
Великобританія	2000-2008	72%	Зменшення
Греція	2002-2008	100 %	Зменшення
Данія	2001-2008	0 %	Зменшення
Ірландія	2001-2008	90 %	Зменшення
Італія	2001-2008	100 %	Зростання
Іспанія	2000-2008	0%	Зростання
Люксембург	2006-2008	100%	Зменшення
Німеччина	2003-2008	5 %	Зменшення
Португалія	2004-2008	0 %	Зростання
Фінляндія	2000-2008	2 %	Зростання
Франція	2001-2008	100 %	Зменшення
Швеція	2004-2008	16 %	Зменшення

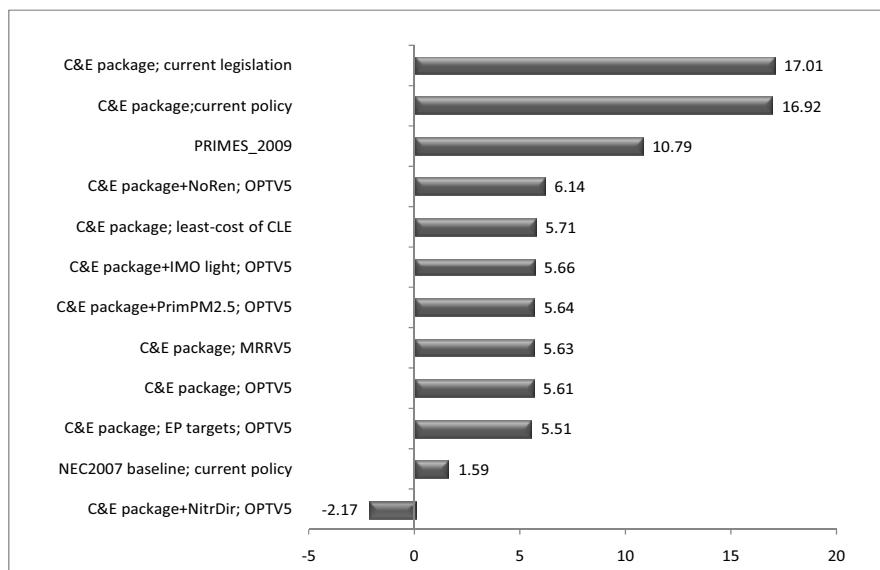


Рис. 1. Зміна відносної невизначеності (%) у випадку застосування різних емісійних сценаріїв для ЄС-15 у 2020 році

Як видно з діаграми (рис. 1), лише у випадку застосування сценарію «C&E package+NitrDir; OPTV5», що передбачає виконання нової енергетичної стратегії Євросоюзу «20-20-20» [7] та директиви в секторі сільського господарства по зменшенню викидів оксиду нітрогену[6], загальна невизначеність зменшиться у майбутньому (обчислення зроблені для 2020 року).

Висновки. На рівні окремих країн у минулому вплив структурних змін в емісіях парникових газів на загальну невизначеність був досить суттєвим для країн Європейського Союзу. У більшості випадків зміни в структурі емісій парникових газів можуть спричинити зростання загальної невизначеності, як показують зроблені обчислення для 2020 року. Тому більше зусиль потрібно прикладати на покращення знань про емісійні процеси, особливо в тих секторах, де прогнозується зростання емісій.

Розроблений математичний апарат дає можливість аналізувати динаміку змін у невизначеностях інвентаризації парникових газів у минулому та прогнозувати майбутні значення. Отримані результати можуть служити базою для встановлення майбутніх міжнародних зобов'язань щодо зменшення емісій парникових газів.

1. Hamal. K. Reporting GHG emissions: Change in uncertainty and its relevance for the detection of emission changes /Hamal K.// Interim Report IR-10-003, International Institute for Applied Systems Analysis, Laxenburg, Austria. Available at:
<http://www.iiasa.ac.at/Publications/Documents/IR-10-003.pdf>.
2. International Environmental Agency (IEA): <http://www.iea.org>
3. National Inventory Reports (2003-2008) under the UNFCCC Treaty. Available at:
http://unfccc.int/national_reports/annex_i_ghg_inventories/national_inventories_submissions/items/4303.php
4. IPCC (2006). 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme, Eggleston H.S., Buendia L., Miwa K., Ngara T. and Tanabe K. (eds).
5. Коробова М.В. Методи аналізу кількісного впливу факторів на зміну результиручого показника / Коробова М.В., Горіцина І.А. // Теорія економічного аналізу. – Київ : КНУ ім. Т.Г. Шевченка, 2003. – С. 22–33. Доступно на:
<http://www.unicyb.kiev.ua/Library/TEA/3%5B1%5D.pdf>
6. GAINS: The Greenhouse Gas and Air Pollution Interactions and Synergies (GAINS):
<http://gains.iiasa.ac.at/gains/EUR/index.login?logout=1>
7. European Commission. EU action against climate change – Leading global action to 2020 and beyond (2009). Directorate-General for the Environment Information centre (BU-9/0/11) B-1049 Brussels. Available at:
<http://ec.europa.eu/environment/climat/pdf/brochures/post 2012 en.pdf>.

Поступила 11.08.2010р.