

УДК 004.942:519.876.5

П.І. Топилко¹, Р.А. Бунь^{1,2}

¹ Національний університет «Львівська політехніка», м. Львів, Україна
Україна, 79013, м. Львів, вул. Степана Бандери, 12

² Академія бізнесу, м. Домброва Гурніча, Польща
Польща, м. Домброва Гурніча

Геоінформаційна технологія формування кадастру емісій парникових газів у електроенергетичному секторі України

P.I. Topylko¹, R.A. Bun^{1,2}

¹ Lviv Polytechnic National University, Lviv, Ukraine
Ukraine, 79013, c. Lviv, 12 Bandera st.

² Academy of Business, Dabrowa Gornicza, Poland
Poland, c. Dabrowa Gornicza

Geoinformation Technology for Inventory of Emissions of Greenhouse Gases in the Electricity Production Sector of Ukraine

П.И. Топылко¹, Р.А. Бунь^{1,2}

¹ Национальный университет «Львовская политехника», г. Львов, Украина
Украина, 79013, г. Львов, ул. Степана Бандеры, 12

² Академия бизнеса, г. Домброва Гурничя, Польша
Польша, г. Домброва Гурничя

Геоинформационная технология формирования кадастра эмиссий парниковых газов в электроэнергетическом секторе Украины

Розроблено математичні моделі для просторового аналізу процесів емісії парникових газів внаслідок спалення викопного палива для виробництва електроенергії в Україні. Створено геоінформаційну технологію, яка дає можливість формувати георозподілену базу даних емісій та будувати просторові кадастри емісій парникових газів при виробництві електроенергії в Україні.

Ключові слова: математичне моделювання, геоінформаційна база даних, емісія парникових газів, виробництво електроенергії.

Mathematical models for spatial analysis of emission of greenhouse gases from burning fossil fuels for electricity production in Ukraine have been created. Geoinformation technology, that builds georeferenced database for the spatial analysis of emissions of greenhouse gases, and forms a spatial cadastre of emissions in electricity production sector of Ukraine, has been elaborated.

Key words: mathematical modeling, geoinformation database, greenhouse gas emission, energy production.

Разработаны математические модели для пространственного анализа процессов эмиссии парниковых газов в результате сжигания ископаемого топлива для производства электроэнергии в Украине.

Создана геоинформационная технология, которая дает возможность формировать геораспределенную базу данных эмиссий и строить пространственные кадастры эмиссий парниковых газов при производстве электроэнергии в Украине.

Ключевые слова: математическое моделирование, геоинформационная база данных, эмиссия парниковых газов, производство электроэнергии.

Вступ

Енергетична галузь є стратегічною для держави, але її вплив на навколишнє середовище досить суттєвий. В останні десятиліття використання електроенергії постійно збільшується, що, звісно, негативно позначається на навколишньому середовищі. В 2010 році промисловістю спожито 94,3 млрд кВт·год (51%), сільським господарством – 3,3 млрд кВт·год (1,8%), підприємствами транспорту та зв'язку – 10,3 млрд кВт·год (5,6%), підприємствами та організаціями інших видів діяльності – 18,3 млрд кВт·год (9,9%), населенням – 36,7 млрд кВт·год (19,9%). При цьому були присутні значні втрати електроенергії в мережах загального користування, що склали 21,7 млрд кВт·год (11,8%) [1].

Процес виробництва електроенергії супроводжується значними емісіями парникових газів. У методиках інвентаризації парникових газів Міжурядової групи експертів зі зміни клімату (МГЕЗК) ця категорія господарської діяльності відноситься до енергетичного сектора [2], [3]. На цей сектор припадає близько 70% сукупних емісій парникових газів [4]: 83% пов'язані з процесом спалювання викопного палива; 17% супутні емісії при видобуванні природного газу, нафти та вугілля. Тому метою представленого у статті дослідження є створення геоінформаційної системи просторового аналізу емісій парникових газів при виробництві електроенергії і формування відповідного кадастру емісій.

Специфіка об'єкта дослідження

В Україні створено об'єднану енергетичну систему (ОЕС). Вона включає теплові станції (ТЕС), атомні електростанції (АЕС), гідроелектростанції (ГЕС), вітрові електростанції (ВЕС) та сонячні електростанції (СЕС). Із загальної потужності електрогенеруючих станцій потужність теплоелектроцентралей та блоків теплових електростанцій становить 63,9%, атомних електростанцій – 26,2%, гідроелектростанцій та гідроакмулюючих електростанцій – 9,7%, нетрадиційних джерел – 0,2% [5]. При виробництві електроенергії на АЕС, ГЕС, ВЕС та СЕС емісії парникових газів відсутні.

Основна увага зосереджена на ТЕС у сенсі емісій парникових газів. Вони поділяються на два типи: конденсаційні (виробництво електроенергії) та станції комбінованого виробництва тепла та електроенергії (ТЕЦ). В табл. 1 наведено найпотужніші теплові електростанції України.

Як правило, потужні ТЕС зосереджені в районах видобутку палива та великих водоймищ, що дають воду для охолодження. Це є економічно вигідно, оскільки доставка палива у декілька разів дорожча, ніж транспортування електроенергії. Саме тому, найпотужніші електростанції зосереджені в Донбасі, на Придніпров'ї, у Харківській, Київській, Івано-Франківській, Львівській областях, у Запоріжжі, Мелітополі та Одесі. Проблеми теплових електростанцій пов'язані з тим, що вони є великими забруднювачами атмосфери.

На кінець 2010 року сумарна встановлена електрична потужність ТЕС та ТЕЦ в Україні складала 27,3 ГВт та 6,4 ГВт, відповідно. В 2010 році виробництво електроенергії складало 86,5 млрд кВт·год, що становило 45,8% від загального виробітку в державі.

Таблиця 1 – Найпотужніші теплові електростанції України

Назва електростанції	Розташування	Фактична потужність, МВт
Вуглегірська	Світлодарськ	3600
Запорізька	Енергодар	3600
Криворізька	Зеленодольськ	2820
Бурштинська	Бурштин	2300
Зміївська	Комсомольське	2200
Старобешівська	Новий Світ	1825
Трипільська	Українка	1800
Ладижинська	Ладижин	1800
Придніпровська	Дніпропетровськ	1765
Курахівська	Курахово	1487

Формування георозподіленої бази даних

В процесі аналізу наявної статистичної інформації [6] сформовано базу даних теплоелектростанцій та теплоелектроцентралей, потужність яких більша за 20 МВт, та кількість виробленої електроенергії за 2010 рік. Формування бази даних електростанцій включало наступні етапи:

- аналіз інформації про електрогенеруючі підприємства в кожній області;
- аналіз технічних характеристик підприємств;
- аналіз інформації про діяльність енергогенеруючого підприємства.

Для більшості електростанцій інформація про кількість виробленої електроенергії відсутня. Тому було проведено дезагрегацію наявних статистичних даних відповідно до потужностей ТЕС та ТЕЦ.

Доступною є інформація про виробництво електроенергії ТЕС та ТЕЦ на рівні держави. Дані про кількість взяті з офіційного сайту Державної служби статистики України. В табл. 2 наведено цю інформацію за 2003 – 2010 роки.

Таблиця 2 – Виробництво електроенергії ТЕС та ТЕЦ

Електроенергія, млрд.кВт·год	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
ТЕС та ТЕЦ	89,5	83,2	84,7	90,1	93,4	91,2	78,7	86,5

В процесі інвентаризації парникових газів важливим є розміщення електростанцій, як точкових джерел емісії [7]. Таку інформацію про розміщення отримано за допомогою плагіну «Google Планета Земля», що є безкоштовним та загальнодоступним у мережі Інтернет.

При формуванні цифрової карти вхідними даними є список ТЕС та ТЕЦ і їх координати, які програма отримує зі створеного в MS Excel файла. Результатом виконання створеної програми в середовищі MapBasic [8] є карта теплових електростанцій (рис. 1).

Більшість теплових електростанцій зосереджені в промислових районах країни, та місцях видобутку палива, що використовується в технологічному процесі виробництва тепло- та електроенергії. В основному це східна частина України, а також, наприклад, Бурштинська ТЕС, на перетині ліній електропередач, що з'єднують Україну з Угорщиною, Румунією, Словаччиною, чи Добротвірська, що з'єднана з Польщею.

Таблиця 4 – Коефіцієнти перетворення деяких видів палива в умовне паливо

Тип палива	Коефіцієнт
вугілля	0,7
газ	1,18
мазут	1,4
горючі сланці	0,34

Враховуючи особливості статистичної звітності в Україні та процесу виробництва електроенергії на ТЕС та ТЕЦ, розроблено математичну модель процесів емісії, яку можна використовувати для просторової інвентаризації парникових газів у категорії 1.А.1.а «Виробництво електроенергії» (за класифікацією методик МГЕЗК):

$$E_{En}^g(\xi_{En,n_p}) = \sum_{f \in F} Q_{En}^f(\xi_{En,n_p}) K_{En,f}^g C_f,$$

де $E_{En}^g(\xi_{En,n_p})$ – емісія g -о парникового газу при використанні палива точковим джерелом емісії ξ_{En,n_p} , $n_p = \overline{1, N_{En,p}}$, $N_{En,p}$ – кількість таких точкових джерел емісії на території адміністративної одиниці R_{1,n_1} , $R_{1,n_1} \in \tilde{R}_1$, де R_{1,n_1} – адміністративна одиниця «першого рівня» (область); \tilde{R}_1 – множина таких адміністративних одиниць; $f \in F$, де f – вид палива, F – множина видів палива (кам'яне вугілля, буре вугілля, природний газ, мазут, тощо); $\xi_{En,n_p} \in \Xi_{En}$, причому ξ_{En,n_p} – точкове джерело емісії, Ξ_{En} – множина точкових джерел емісії на території адміністративної одиниці R_{1,n_1} ; $K_{En,f}^g$ – коефіцієнт емісії g -о парникового газу при спалюванні f -о виду палива в секторі Енергетика (1.А.1.а Виробництво електроенергії та тепла); C_f – теплотворне значення f -о виду палива; $Q_{En}^f(\xi_{En,n_p})$ – кількість спожитого палива f -о виду точковим джерелом ξ_{En,n_p} на території адміністративної одиниці R_{1,n_1} . Цей параметр обчислюємо за наступною формулою:

$$Q_{En}^f(\xi_{En,n_p}) = \frac{P_{n_p} D_{En,n_p,E}}{K_{f,n_p}},$$

де P_{n_p} – питомі витрати умовного палива електрогенеруючим підприємством ξ_{En,n_p} на виробництво одиниці електроенергії; $D_{En,n_p,E}$ – кількість виробленої електроенергії ξ_{En,n_p} -м електрогенеруючим підприємством; K_{f,n_p} – коефіцієнт перетворення палива f -о виду в умовне паливо (див. табл. 4).

Параметр $D_{En,n_p,E}$ (кількість виробленої електроенергії) з врахуванням особливостей статистичного звітування в Україні обчислюємо за формулою:

$$D_{En,n_p,E} = \frac{D_{En,R_{1,n_1}} - D_{En,R_{1,n_1}}^*}{\sum_{n_p} W(\xi_{En,n_p})} W(\xi_{En,n_p}),$$

де $D_{En,R_{1,n_1}}$ – загальна кількість виробленої електроенергії на території адміністративної одиниці R_{1,n_1} ; $D_{En,R_{1,n_1}}^*$ – кількість виробленої електроенергії електрогенеруючими

підприємствами, виключаючи ТЕС та ТЕЦ (атомні електростанції, гідроелектростанції, вітрові та сонячні електростанції не враховуються); $W(\xi_{En, n_p})$ – електрична потужність ТЕС чи ТЕЦ.

Сумарна емісія всіх парникових газів в еквіваленті CO_2 :

$$E_{En}^{\Sigma}(\xi_{En, n_p}) = \sum_{g \in G} E_{En}^g(\xi_{En, n_p}) W_g,$$

де $E_{En}^{\Sigma}(\xi_{En, n_p})$ – сумарна емісія всіх парникових газів в еквіваленті CO_2 точковим джерелом ξ_{En, n_p} ; W_g – коефіцієнт глобального потепління відповідного парникового газу, для двоокису вуглецю $W_g = 1$, для метану $W_g = 21$, для закису азоту $W_g = 310$.

Просторовий кадастр емісій

Результатом математичного моделювання процесів емісії парникових газів при виробництві електроенергії в Україні є цифрові тематичні карти, які ілюструють величину емісії кожного аналізованого точкового джерела. Як приклад, на рис. 2 відображено результати проведеної інвентаризації емісій парникових газів у еквіваленті CO_2 для 2010 року.

В результаті аналізу отриманих результатів інвентаризації парникових газів при виробництві електроенергії в Україні виділено найбільші енергогенеруючі підприємства, в результаті діяльності яких відбуваються найбільші емісії. В табл. 5 наведено інформацію про такі підприємства.

Одним з важливих і стратегічних регіонів України є східний. Саме в ньому зосереджено основні промислові потужності, для забезпечення стабільної роботи яких необхідна велика кількість електроенергії. Наявність у цьому регіоні великих покладів вугілля зумовило побудову значної кількості потужних електрогенеруючих підприємств, діяльність яких спричиняє значні емісії парникових газів. На рис. 3 відображено результати проведеної інвентаризації для Донецької області, на території якої діють 6 потужних ТЕС та 3 ТЕЦ, причому п'ять з шести ТЕС відносяться до найпотужніших електрогенеруючих підприємств України, а саме: Вуглегірська, Зуївська, Курахівська, Слов'янська, Старобешівська.

Важливою також є інформація про тип парникового газу, що утворюється в результаті використання палива електрогенеруючими підприємствами. Основними парниковими газами є: вуглекислий газ, метан та закис азоту. На рис. 4 відображено процентні співвідношення в еквіваленті CO_2 .

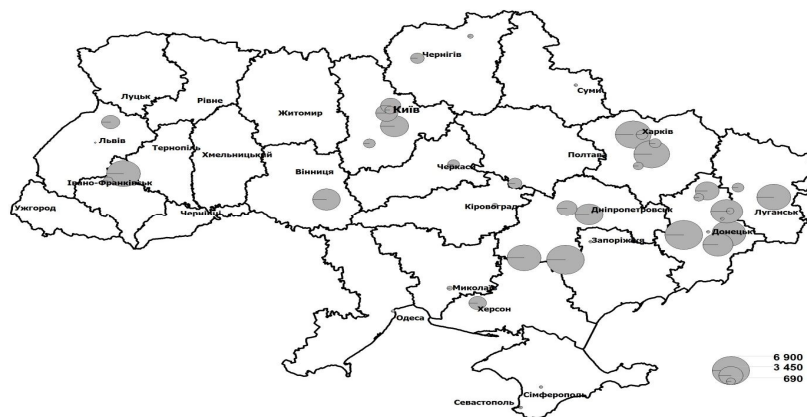


Рисунок 2 – Цифрова тематична карта сумарних емісій парникових газів при виробництві електроенергії в Україні в еквіваленті CO_2 , тис. т

Таблиця 5 – Емісії парникових газів найпотужнішими електрогенеруючими підприємствами України в 2010 році

Назва підприємства	Розташування		Емісії парникових газів в еквіваленті CO_2 , тис. т
	область	населений пункт	
Курахівська ТЕС	Донецька	Курахове	6 852,4
Запорізька ТЕС	Запорізька	Енергодар	6 842,6
Зміївська ТЕС	Харківська	Комсомольське	6 514,1
Харківська ТЕЦ-5	Харківська	Подвірки	6 036,2
Криворізька ТЕС	Дніпропетровська	Зеленодольськ	5 896,0
Бурштинська ТЕС	Івано-Франківська	Бурштин	5 825,4
Луганська ТЕС	Луганська	Щастя	5 761,1
Зуївська ТЕС	Донецька	Зугрес	5 632,1
Вуглегірська ТЕС	Донецька	Світлодарськ	5 300,5
Старобешівська ТЕС	Донецька	Новий Світ	4 499,4
Трипільська ТЕС	Київська	Україна	4 290,7
Придніпровська ТЕС	Дніпропетровська	Дніпропетровськ	4 117,1
Ладижинська ТЕС	Вінницька	Ладижин	3 900,8
Слов'янська ТЕС	Донецька	Миколаївка	2 932,9
Київська ТЕЦ-5	Київська	Київ	2 505,9

Аналіз отриманих результатів показав, що вуглекислий газ є основним парниковим газом, на який припадає 93,5% від загальної кількості. На метан припадає 6% і на закис азоту 0,5% від сумарних емісій.

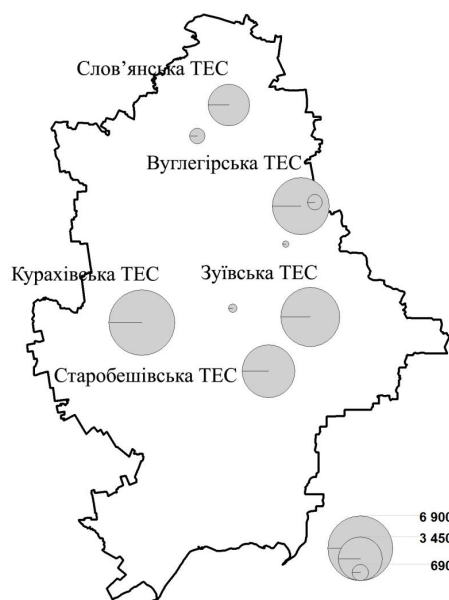


Рисунок 3 – Карта емісій при виробництві електроенергії у Донецькій обл. (2010 р., CO_2 -еквівалент)

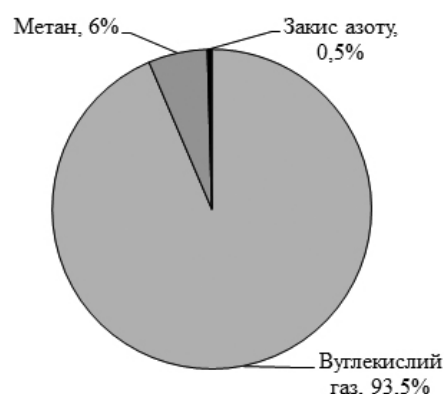


Рисунок 4 – Структура емісій при виробництві електроенергії в Україні (2010 р., CO_2 -еквівалент)

Висновки

Реалізація просторової інвентаризації та аналізу парникових газів при виробництві електроенергії є доцільною, оскільки процес такого виробництва супроводжується знач-

ними емісіями, що негативно позначається на навколишньому середовищі та глобальній зміні клімату. В цій роботі представлено створену геоінформаційну технологію формування просторового кадастру емісій та здійснено аналіз емісій парникових газів від діяльності теплової електроенергетики України. Сформовано відповідну георозподілену базу даних основних електрогенеруючих підприємств та визначено їх координати. На основі цього побудовано цифрову карту теплових електрогенеруючих підприємств. Також створено математичну модель процесу емісії парникових газів, що враховує особливості статистичного звітування в Україні. Отримані результати демонструють значні емісії парникових газів при виробництві електроенергії тепловими електрогенеруючими підприємствами. Це дає можливість владним структурам та керівництву ТЕС та ТЕЦ приймати дієві рішення зі зменшення емісій та впровадження новітніх технологій, що приведе до покращення екологічної ситуації та отримання позитивного фінансового ефекту від участі у відповідних механізмах торгівлі.

Література

1. Статистичний щорічник України за 2010 рік : Статистичний збірник. – Київ : Державна служба статистики України, 2011. – 560 с.
2. 2006 IPCC Guidelines Versus the Revised 1996 IPCC Guidelines: Implications for Estimates of CO2 Emission from Fuel Combustion // IEA. – France : Paris, 2009. – 22 p.
3. Ravindranath N.H. Carbon inventory methods: Handbook for greenhouse gas inventory, carbon mitigation and roundwood production projects / N.H. Ravindranath, Madelene Ostwald. – Springer, 2008. – 306 p.
4. Березницькая М.В. Национальный кадастр антропогенных выбросов из источников и абсорбции поглотителями ПГ в Украине за 1990 – 2006 гг. / [М.В. Березницькая, О.В. Бутрим, Г.Г. Панченко и др.]. – Киев : Министерство охраны окружающей природной среды Украины, 2008. – 310 с.
5. Інтернет-ресурс [Електронний ресурс]. Державне підприємство «Державний інформаційно-аналітичний центр моніторингу зовнішніх товарних ринків». – Режим доступу : <http://www.ukrdzi.com>
6. Інтернет-ресурс [Електронний ресурс]. Національна акціонерна компанія «Енергетична компанія України». – Режим доступу : <http://www.ecu.gov.ua>
7. Bun R. Spatial GHG inventory on regional level: Accounting for uncertainty / [R. Bun, Kh. Hamal, M. Gusti, A. Bun] // Climatic Change. Springer Netherlands, 2010. – V. 103, Is. 1. – P. 227-244.
8. MapBasic reference guide version 9.0. – USA : New York, 2007. – 207 p.
9. Бунь Р.А. Інформаційні технології формування кадастру емісій парникових газів Львівщини / [Р.А. Бунь, Н.О. Шпак, Б.М. Матолич, Х.В. Бойчук и др.]. – Львів : Видавничий дім «Укрпол», 2010. – 272 с.
10. Гамаль Х. Геоінформаційні технології просторового аналізу емісії парникових газів у енергетичному секторі : дис. ... канд. техн. наук : 05.13.06 / Гамаль Х. – Львів, 2009. – 256 с.
11. 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.Б., 2012. – 464 с.
12. Lesiv M. Spatial analysis of GHG emissions in eastern polish regions: energy production and residential sector / [Lesiv M., Bun R., Shpak N., Danylo O., Topylko P.] // Econtechmod. – 2012. – Vol. 1, № 2. – P. 17-23.
13. Мала гірнича енциклопедія : в 3 т. / [За ред. В.С. Білецького]. – Донецьк : Донбас, 2004. – 388 с

Literatura

1. Statistical Yearbook of Ukraine for 2010: Statistical Yearbook. – Kyiv : State Statistics Service of Ukraine, 2011. – 560 p.
2. 2006 IPCC Guidelines Versus the Revised 1996 IPCC Guidelines: Implications for Estimates of CO2 Emission from Fuel Combustion / IEA, Paris, France, 2009. – 22 p.

3. Ravindranath N.H., Madelene Ostwald. Carbon inventory methods: Handbook for greenhouse gas inventory, carbon mitigation and roundwood production projects. – Springer, 2008. – 306 p.
4. Bereznitskaya M.V. National inventory of anthropogenic emissions by sources and removals by sinks in Ukraine for 1990-2006 years. / [M.V. Bereznitskaya, O.V. Butrim, G.G. Panchenko, Yu.V. Pirozhenko, A.P. Habatyuk]. – Kiev : Ministry of Environmental Protection of Ukraine, 2008. – 310 p.
5. Internet resource [<http://www.ukrdzi.com>], State Enterprise «State Information and Analysis Center for Monitoring International Commodity Markets».
6. Internet resource [<http://www.ecu.gov.ua>], National Joint Stock Company «Energy Company of Ukraine»
7. Bun R., Hamal Kh., Gusti M., Bun A. Spatial GHG inventory on regional level: Accounting for uncertainty // Climatic Change. Springer Netherlands, 2010. – V. 103, Is. 1. – P. 227-244.
8. MapBasic reference guide version 9.0, New York, USA, 2007. – 207p.
9. Bun R., Boychuk H., Bun A., Lesiv M. Information technologies for spatial inventory of greenhouse gases in energy sector and uncertainty analysis. – Lviv : PP Soroka T.B., 2012. – 464 p.
10. Hamal Kh. Geoinformation technology for spatial analysis of greenhouse gas emissions in Energy sector: Thesis for a candidate's degree on the speciality: 05.13.06. – Lviv, 2009. – 256 p.
11. Information technologies for creation of cadastre of greenhouse gas emissions of Lviv region / [Bun R., Shpak N., Matolych B. et al.]. – Lviv : «Ukrpol» Publishing House, 2010. – 272 p.
12. Lesiv M. Spatial analysis of GHG emissions in eastern polish regions: energy production and residential sector / [Lesiv M., Bun R., Shpak N., Danylo O., Topylko P.] // Econtechmod. – 2012. – Vol. 1, № 2. – P. 17-23.
13. Small mining encyclopedia : in 3 vol. / V.S. Biletski, ed. – Donetsk : Donbas, 2004. – 388 p.

RESUME

P.I. Topylko, R.A. Bun

Geoinformation Technology for Inventory of Emissions of Greenhouse Gases in the Electricity Production Sector of Ukraine

Implementation of spatial inventory and analysis of greenhouse gas emissions from electricity is reasonable, since the process of production is accompanied by significant emissions, which affects to the environment and leads the global climate change. This paper presents created geoinformation technology of spatial inventory and analysis of GHG emissions from thermal power plants of Ukraine. Georeferenced database for main electricity companies have been formed, and their coordinates have been set. Based on created database of thermal power plants the digital map have been built. Also a mathematical model of greenhouse gases emission that takes into account the specifics of statistical reporting in Ukraine have been created. The results demonstrate significant greenhouse gas emissions from electricity thermal power enterprises. It gives to the policy makers and leaders of power plants an effective tools for reducing emissions and the use of new technologies that will lead to improving the environment and a positive financial effect of participation in relevant trade mechanisms.

Стаття надійшла до редакції 04.04.2013.