

*П.І. Топилко, канд. техн. наук, Б.Б. Любінський, канд. техн. наук
(Національний університет "Львівська політехніка")*

ВИКОРИСТАННЯ СПЕЦІАЛІЗОВАНОГО ПРИКЛАДНОГО ІНСТРУМЕНТАРІЮ ДЛЯ АНАЛІЗУ ПРОЦЕСІВ ЕМІСІЇ ПАРНИКОВИХ ГАЗІВ В ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИЧНІЙ ГАЛУЗІ УКРАЇНИ

Здійснено аналіз електроенергетичної галузі України в сенсі емісії парникових газів та представлено основні алгоритми програмного інструментарію для автоматизації просторового аналізу процесів емісії основних парникових газів в цій галузі. Основні переваги розробленого програмного забезпечення включають можливість автоматично формувати бази входних даних, здійснювати просторове моделювання процесів емісії парникових газів при виробництві електроенергії на рівні точкових джерел, а також формувати відповідні результати у вигляді цифрових тематичних карт.

Ключові слова: математичне моделювання, програмний інструментарій, інвентаризація парникових газів, електроенергетична галузь.

P. Topylko, B. Lubinsky

USAGE OF SPECIALISED APPLIED TOOLKIT FOR GHG EMISSION ANALYSIS IN ELECTRICITY PRODUCTION SECTOR OF UKRAINE

This article analyzes the electricity sector of Ukraine in terms of greenhouse gas emissions and the basic algorithms of software tools to automate the process of spatial analysis of greenhouse gas emissions in this branch have been presented. The main advantages of the developed software include the ability of automatic database forming of input data, spatial modeling of greenhouse gas emissions from electricity production at level of point sources and also generate appropriate results in the form of digital thematic maps.

Key words: mathematical modeling, GIS technology, an inventory of greenhouse gases, production of heat and electricity.

Вступ. Бурхливий технологічний прогрес усіх галузей народного господарства і бажання людства забезпечити комфортні умови проживання потребує значної кількості електроенергії, виробництво якої, переважно, супроводжується спалюванням викопних енергетичних ресурсів. В результаті такої діяльності в атмосферу потрапляє значна кількість парникових газів, що негативно позначається на кліматі планети, зокрема, часто спостерігається раптова зміна погодних умов, збільшення рівня світового океану, затяжні засухи і т.д [1]. Тому питання скорочення емісій парникових газів є досить актуальним серед світових лідерів.

Ця проблематика активно опрацьовується світовою науковою спільнотою. Сьогодні вже апробовано ряд підходів та методик оцінки емісій парникових газів, проте вони є або занадто узагальнені, або придатні лише для певної обмеженої території [2, 5]. І, відповідно, відсутнє спеціалізоване програмне забезпечення, яке б дало можливість швидко оцінювати емісії парникових газів із врахуванням різних особливостей цього процесу та не потребувало від дослідників специфічних знань. Слід відзначити, що при оцінюванні процесів емісії наявна велика кількість статистичних даних, обробка яких потребує автоматизації. Для покращення знань про емісійні процеси та вироблення ефективних шляхів щодо їх скорочення необхідним є розроблення відповідного програмного інструментарію, який би забезпечував сучасні потреби дослідників та науковців.

Ця стаття присвячена аналізу та тестуванню розробленого програмного інструментарію для здійснення інвентаризації парникових газів при виробництві електроенергії. Особливістю програмного забезпечення є можливість його швидкої адаптації до конкретного регіону чи країни.

Специфікація об'єкта дослідження та удосконалення математичної моделі. Енергетична галузь є дуже важливою для української економіки, проте наслідки її впливу на навколишнє середовище є суттєвими. Основною причиною негативного впливу є спалювання викопного палива електрогенеруючими підприємствами країни. В останні роки спостерігається тенденція до зростання споживання електроенергії в усіх галузях народного господарства, що забезпечує збільшення кількості емісій парникових газів [4]. Незважаючи на складну геополітичну ситуацію в країні, у 2015 році промисловістю спожито 50,1 млрд. кВт·год. електроенергії (37,2%), сільським господарством – 3,3 млрд. кВт·год. (2,5%), підприємствами транспорту та зв'язку – 6,8 млрд. кВт·год. (5,0%), комунальними підприємствами – 15,1 млрд. кВт·год. (11,2%), населенням – 36,2 млрд. кВт·год. (26,9%), іншими споживачами – 6,6 млрд. кВт·год. (17,2%). Ще однією особливістю електроенергетичної галузі України є значні втрати електроенергії на транспортування, що становлять понад 10% від загальної кількості виробництва.

Основою електрогенеруючої галузі країни є підприємства, які працюють на викопному паливі. Ця особливість галузі є причиною значних емісій парникових газів України. Якщо розглядати енергетичний сектор, діяльність якого спричиняє понад 70% сукупних емісій від загальнодержавних показників, то на продукування електроенергії припадає понад 80% всіх емісій в галузі.

Аналізуючи галузь продукування електроенергії будь-якої держави необхідно чітко з'ясувати її структуру та особливості, оскільки це суттєво впливає на кінцевий результат моделювання. Українська електроенергетична галузь складається з теплових та атомних електростанцій, гідроелектростанцій, вітрових та сонячних електростанцій. Актуальними в сенсі емісій парникових газів є лише ТЕС та ТЕЦ, оскільки їх функціонування базується на спалюванні викопного палива [3].

Особливістю функціонування ТЕС та ТЕЦ є їх географічне розташування. Більшість з них побудовані в місцях залягання викопного палива, оскільки транспортування електроенергії до споживачів є економічно вигіднішим ніж транспортування палива до електрогенеруючих підприємств. Тому більшість ТЕС та ТЕЦ України знаходяться на сході, в центральній частині та на заході.

Узагальнена модель, яка відображає процеси емісії парникових газів від стаціонарних джерел, зокрема підприємств електрогенеруючої галузі, може бути представлена як добуток кількості спожитого палива на відповідні емісійні коефіцієнти. До цього часу науковці розробили та апробували ряд методик та підходів до інвентаризації парникових газів [1], які передбачають оцінку кількості емісій на глобальному рівні та на рівні країн. Основними вхідними даними служить офіційна статистика про господарську діяльність і не враховуються особливості функціонування джерел емісії.

Врахування особливостей функціонування джерел емісії парникових газів є дуже важливим при розробленні рішень щодо скорочення емісій, оскільки це дає чітко ідентифікувати проблемні підприємства електрогенеруючої галузі. До факторів, які впливають на кількість емісій, відносяться:

- тип енергетичного ресурсу (палива),
- технологія спалювання,
- умови функціонування обладнання,
- контроль за кількістю емісій,
- якість обладнання, що застосовується,
- вік установок для спалювання палива.

Виходячи з потреб, які з'являються при визначенні проблемних підприємств, удосконалено математичну модель, запропоновану у [3], і основою якої є специфічні для кожного електрогенеруючого підприємства параметри. До них відносяться кількість спаленого палива на виробництво електроенергії, емісійні коефіцієнти та теплотворна здатність палива відповідного типу. Наведена нижче рівність представляє удосконалену математичну модель:

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

де $E_{En}^g(\xi_{En,n_p})$ – емісія g -го парникового газу від використання різних видів викопного палива відповідним точковим джерелом ξ_{En,n_p} , $n_p = \overline{1, N_{En,p}}$, $N_{En,p}$ – кількість джерел емісії на території адміністративної одиниці (області) R_{1,n_1} , $R_{1,n_1} \in \tilde{R}_1$;

$Q_{En,f}(\xi_{En,n_p})$ – кількість спаленого палива f -го виду точковим джерелом ξ_{En,n_p} на території адміністративної одиниці R_{1,n_1} .

$K_{En,f}^g$ – емісійний коефіцієнт g -го парникового газу при спалюванні f -го виду палива в секторі Енергетика (згідно методик МГЕЗК);

$C_f(\xi_{En,n_p})$ – теплотворне значення f -го виду палива, яке використовується точковим джерелом ξ_{En,n_p} .

Запропоновані удосконалення до математичної моделі передбачають отримання більш детальних даних про кількість емісій парникових газів на рівні конкретного електрогенеруючого підприємства і є фундаментом для розроблення спеціалізованого програмного забезпечення.

Технічні вимоги до програмного забезпечення. Для проведення просторової інвентаризації слід використовувати побудовані моделі для конкретного сектора та інструменти, які візуалізують результати інвентаризації. Виходячи з цього, просторову інвентаризацію емісій парникових газів доцільно проводити з використанням спеціалізованої геоінформаційної системи та розроблених математичних моделей, які в повній мірі враховують специфіку процедур побудови просторових кадастрів емісій. Розроблені архітектурні рішення, математичні моделі та підходи до програмної реалізації основних модулів уможливили реалізацію спеціалізованої геоінформаційної системи для просторового аналізу процесів емісії парникових газів, яка забезпечує:

- оперування з джерелами емісії точкового, лінійного та площинного типу;
- формування зручних для сприйняття просторових кадастрів емісій та аналіз структури емісій як на рівні невеликих ділянок території, так і на рівні регіонів;
- автоматизацію процесів побудови векторних карт на основі фізичних карт з подальшою прив'язкою атрибутивної інформації;
- автоматизацію формування геопросторових баз даних;
- врахування специфіки подання національної статистичної звітності;
- аналіз невизначеності (непевності) результатів просторової інвентаризації з врахуванням симетричних та несиметричних розподілів вхідних величин.

З метою аналізу ефективності роботи програмного забезпечення розробленої геоінформаційної системи, яка передбачає здійснення інвентаризації парникових газів на рівні електрогенеруючих підприємств, необхідно використати удосконалену математичну модель та здійснити обчислювальні експерименти.

Для реалізації просторової інвентаризації парникових газів та візуалізації результатів доцільно використати інструментарій вже існуючих геоінформаційних систем (ГІС), які призначені для зберігання, відображення, обробки та аналізу даних, що містять географічну прив'язку до певної території. При роботі з ГІС уся інформація зберігається в георозподіле-

них базах даних, візуальне представлення яких є у вигляді цифрових карт. Такі карти відображають територіальне розміщення об'єктів, а інформація щодо певних властивостей та характеристик відповідних об'єктів зберігається у відповідних полях георозподіленої бази даних, яка містить географічну прив'язку до об'єктів на карті.

Результатом просторового моделювання процесів емісії парникових газів повинні бути набори числових значень емісій за деякий проміжок часу, які додатково характеризуються геолокацією. Для аналізу територіального розподілу узагальнених значень емісій парникових газів при виробництві електроенергії слід використовувати межі адміністративних районів чи областей. Також створене програмне забезпечення має давати змогу роботи з точковими, лінійними та площинними джерелами емісій та можливість здійснювати обчислення емісій на рівні елементарних ділянок та по різних категоріях господарської діяльності. Слід зазначити, що важливим є і візуальне представлення результатів у вигляді цифрових тематичних карт, що забезпечує наочну оцінку.

Моделювання процесів емісії парникових газів з використанням розробленого програмного продукту. Для здійснення просторової оцінки емісій парникових газів при виробництві електроенергії в Україні зручно застосовувати підхід, який базується на даних про кінцеве споживання вичерпаного палива відповідними підприємствами-виробниками електроенергії. Цей підхід є досить практичним і точним в сенсі оцінки невизначеності отриманих результатів та якісно представляє територіальний розподіл емісій. Однак, негативною стороною цього підходу є залежність від точності інформації про кількість спаленого палива відповідними виробниками електроенергії, оскільки такі дані є конфіденційними і не завжди доступними.

При аналізі емісій парникових газів здійснено обчислювальні експерименти. При цьому використовувалася удосконалена математична модель та розроблений програмний продукт. В проведених експериментах використовувалися статистичні дані про результати діяльності електрогенеруючої галузі України за 2008-2012 роки, оскільки вони виявилися найбільш повними та деталізованими. Результатом аналізу є набори числових значень емісій парникових газів (вуглекислий газ, метан, закис азоту) за цей період для кожного виробника електроенергії в Україні.

Розроблене програмне забезпечення передбачає візуальне представлення результатів моделювання у вигляді цифрових тематичних карт, що полегшує досліднику робити відповідні висновки. Прикладом представлення результатів моделювання процесів емісії парникових газів є цифрові карти. Зокрема, на рис. 1-3 представлені результати оцінювання емісій парникових газів при виробництві електроенергії в Україні в 2012 році при спалюванні кам'яного вугілля, природного газу та мазуту відповідно.

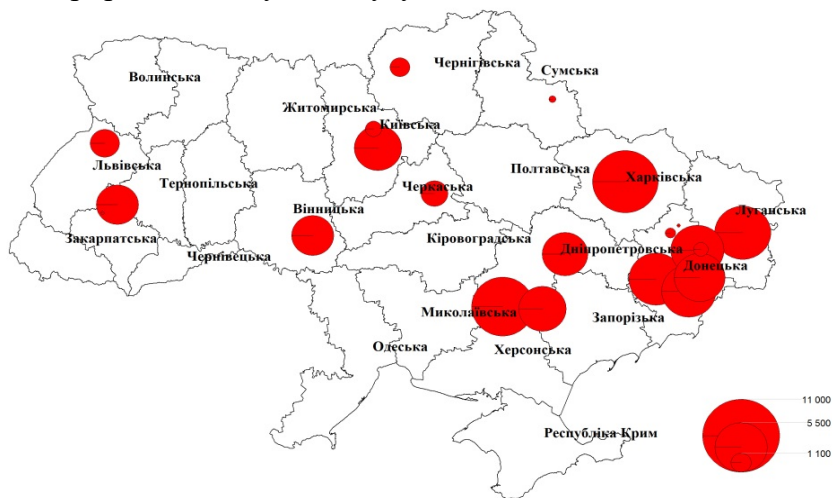


Рисунок 1 – Результати оцінювання емісій парникових газів при спалюванні кам'яного вугілля при виробництві електроенергії в Україні в CO₂-еквіваленті (2012 р., тис. т)

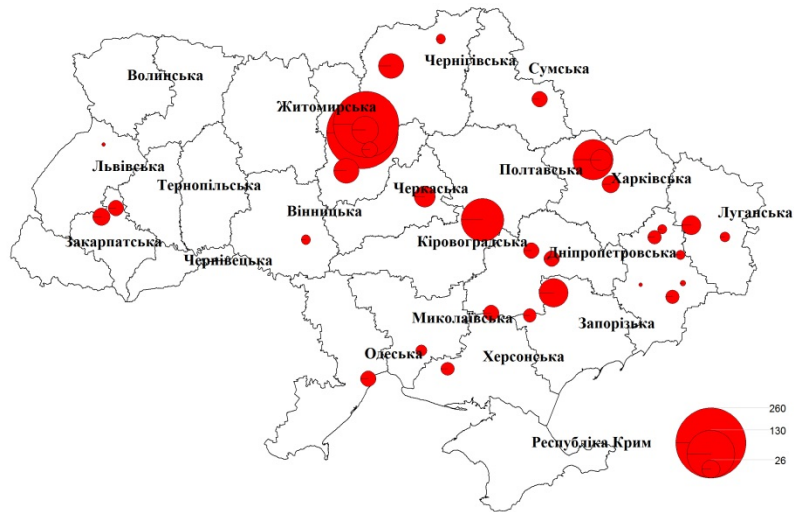


Рисунок 2 – Результати оцінювання емісій парникових газів при спалюванні природного газу для виробництва електроенергії в Україні в CO₂-еквіваленті (2012 р., тис. т)

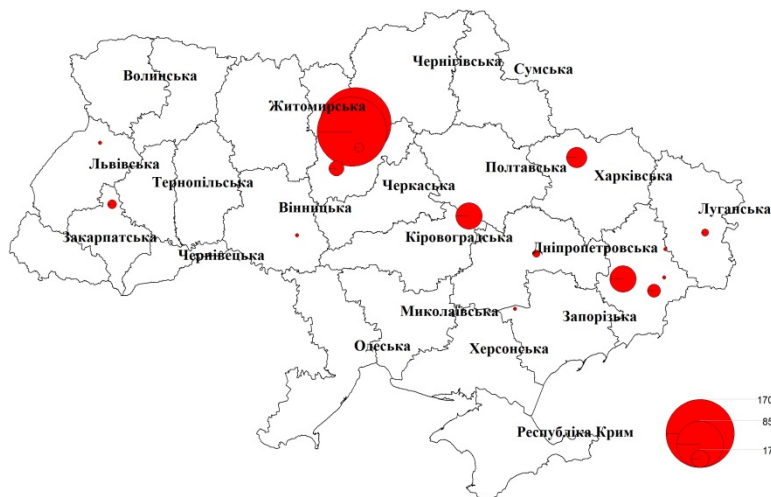


Рисунок 3 – Результати оцінювання емісій парникових газів при спалюванні мазуту для виробництва електроенергії в Україні в CO₂-еквіваленті (2012 р., тис. т)

Отримані результати свідчать про значні емісії парникових газів при виробництві електроенергії в Україні, а також дають вагоме підґрунтя для владних структур прийняття дієвих та ефективних рішень для їх скорочення.

Аналіз динаміки процесів емісії парникових газів. Результати аналізу процесів емісій парникових газів для конкретного проміжку часу є досить важливими і дають змогу оцінити поточний стан ситуації. Проте отримані дані не забезпечать можливості оцінювання динаміки цих процесів, що є важливим для владних структур та керівників відповідних підприємств. Результати оцінювання динаміки процесів емісії парникових газів забезпечать залучення додаткових інвестицій для модернізації обладнання на тих електрогенеруючих підприємствах, які показують позитивні тенденції в сенсі скорочення викидів парникових газів.

Для аналізу динаміки процесів емісії парникових запропоновано алгоритм, який полягає в проведенні обчислювальних експериментів для декількох проміжків часу та з використанням наведеної вище удосконаленої математичної моделі. Слід звернути увагу на якість вхідних даних, від яких залежить якість результатів аналізу динаміки процесів емісії парникових газів. Оскільки найбільш детальні дані про діяльність електрогенеруючих підприємств України були для 2008-2012 років, тому обчислювальні експерименти здійснювалися саме

для цього часового проміжку. Як приклад, на рисунку 4 представлені результати аналізу динаміки емісій парникових газів для п'яти найбільших електропродуруючих підприємств України. Зокрема, це Придніпровська, Запорізька, Старобешівська, Бурштинська та Добротвірська електростанції.

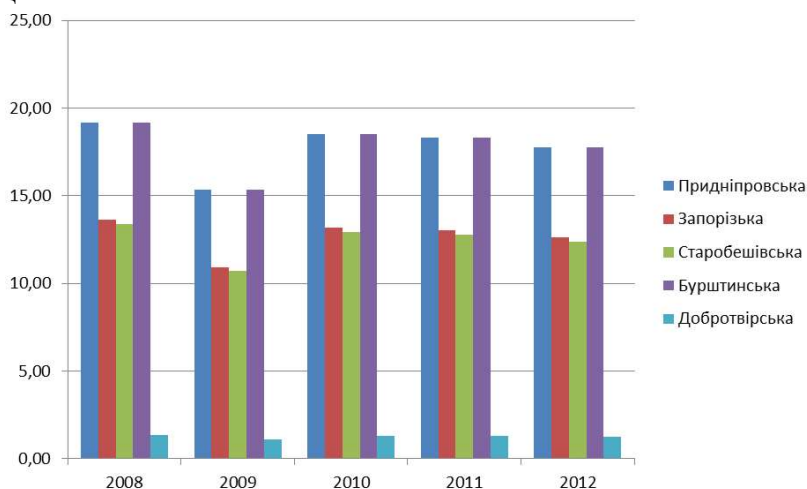


Рисунок 4 – Результати оцінювання динаміки емісій парникових газів при виробництві електроенергії для п'яти найбільших ТЕС України, (2008-2012 р., тис. т CO₂-еквіваленту)

Відповідно до представлених результатів оцінювання динаміки емісій парникових газів можна стверджувати, що для всіх електрогенеруючих підприємств спостерігається загальна тенденція. У 2009 році відбулося суттєве скорочення емісій у порівнянні з попереднім роком. Це пояснюється тим, що в цей період спостерігалася світова економічна криза, яка спричинила скорочення споживання електроенергії. У 2010 році виробництво електроенергії збільшилося. Як наслідок, зросла кількість емісій парникових газів. У наступні два роки спостерігалася незначне скорочення емісій. Ці позитивні зміни пояснюються впровадженням новітніх технологій в сенсі більш ощадного споживання електроенергії, а також загальнодержавним економічним спадом.

Висновки. Наукові задачі вирішення проблеми глобальної зміни клімату залишаються чи не найактуальнішими. Основна робота при цьому зосереджена на обробці та аналізі значної кількості статистичних даних. Розроблення спеціалізованого програмного інструментарію для здійснення просторової інвентаризації та аналізу процесів емісії парникових газів є актуальним і доцільним завданням, оскільки це забезпечить автоматизацію формування бази вхідних даних та врахування особливостей, наявних при виконанні таких завдань. У цій роботі представлені результати удосконалення математичної моделі процесів емісії парникових газів при виробництві електроенергії в Україні, а також основні можливості розробленого спеціалізованого програмного забезпечення для їх аналізу. З використанням цього програмного продукту здійснено обчислювальні експерименти, сформовано базу даних результатів моделювання, здійснено аналіз отриманих результатів та на їх основі побудовано відповідні цифрові тематичні карти. Слід зазначити, що отримані результати є цінними для владних структур, які залучені до формування національного кадастру емісій парникових газів та представляють Україну на міжнародному ринку торгівлі емісійними квотами. В свою чергу керівництво електрогенеруючих підприємств може використовувати розроблений інструментарій при формуванні обґрунтованих підстав для залучення додаткових коштів на модернізацію обладнання.

Список літератури:

1. 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.

2. Гамаль Х. Геоінформаційна технологія для просторового аналізу парникових газів в енергетичному секторі: дис.канд. н.: 05.13.06 / Гамаль Христина. – Львів : Національний університет «Львівська політехніка», 2009. – 246 р.

3. Топилко П. І. Геоінформаційна технологія формування кадастру емісій парникових газів у електро-енергетичному секторі України / П. І. Топилко, Р. А. Бунь // Штучний інтелект. – Донецьк, 2013. – № 4. – С. 432-440.

4. Национальный кадастр антропогенных выбросов из источников и абсорбции поглотителями ПГ в Украине за 1990-2012 гг. – Киев : Государственное агенство экологических инвестиций Украины, 2014. – 577 с.

5. Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories/ [IPCC] Working Group I (WG I) Technical Support Unit. – 1997. Available at: <http://www.ipccnggip.iges.or.jp/public/gl/invs1.html>

References:

1. Bun R.A., Boychuk Kh.V., Bun A.R., Lesiv M.Yu. (2012), *Informatsiyni tekhnolohiyi prostorovoyi inventaryzatsiyi parnykovykh haziv u enerhetychnomu sektori ta analiz nevyznachenosti* [Informational technologies of spatial GHG inventory in energy sector and uncertainty analysis], p.p. Soroka, Lviv, Ukraine.

2. Hamal Kh. (2009), “Geoinformation technology for spatial GHG analysis in energy sector”. Dissertation for Cand. Sc. (Enginiring). 05.13.06, Lviv Polytechnic National University, Lviv, Ukraine.

3. Topylko P.I., Bun R.A. (2013), “ Geoinformation technology of forming cadaster of greenhouse gas emissions in electricity generation sector of Ukraine” *Shtuchnyi intelekt*, vol-4, pp.432-440.

4. State Environmental Investment Agency (2014), “Natsionalnyi kadastr antropogennyih vyibrosov iz istochnikov i absorbtzii poglotitelyami PG v Ukraine za 1990-2012 gg.” [National inventory report of anthropogenic emissions by GHG sources and removals by sinks in Ukraine in 1990-2012], Kyiv, Ukraine.

5. Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories/ [IPCC] Working Group I (WG I) Technical Support Unit. – 1997. Available at: <http://www.ipccnggip.iges.or.jp/public/gl/invs1.html>

