



УДК 662.6; 630\*181.351

## КІЛЬКІСНІ ТА ЯКІСНІ ОЦІНКИ ВИКИДІВ ШКІДЛИВИХ РЕЧОВИН У ДОВКІЛЛІ ПІД ЧАС СПАЛЮВАННЯ ДЕРЕВИНИ ПОРІВНЯНО З ПРИРОДНИМ ГАЗОМ І ВУГІЛЛЯМ

**Л. В. Худолєєва<sup>1</sup>, Н. К. Куцоконь<sup>2</sup>, Н. М. Рашидов<sup>2</sup>, О. М. Дуган<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Національний технічний університет України “Київський політехнічний інститут”  
просп. Перемоги, 37, Київ 03056, Україна

<sup>2</sup>Інститут клітинної біології та генетичної інженерії НАН України  
вул. Академіка Заболотного, 148, Київ 03143, Україна  
e-mail: [kutsokon@gmail.com](mailto:kutsokon@gmail.com)

В умовах постійного збільшення антропогенного навантаження на довкілля пошук екологічно прийнятних технологій отримання енергії стає дедалі більш актуальним. Використання відновлюваних джерел, зокрема, деревної біомаси з короткоротаційних плантацій, для продукування енергії супроводжується меншими кількостями викидів забруднюючих речовин в атмосферу та давно практикується у більшості країн ЄС та світу, але в Україні не має широкого розповсюдження. Хоча для цього є низка вагомих передумов, зокрема, менші викиди шкідливих речовин у довкілля при згорянні деревини та наявність значної кількості непридатних для використання в аграрному секторі площ, де можливо створювати короткоротаційні деревні насадження. У статті розроблено математичну модель для оцінювання загального викиду шкідливих речовин у довкілля у разі використання викопного (природний газ, вугілля) та відновлюваного (біомаса деревини) палива на об'єктах генерації енергії, та запропоновано новий підхід для порівняльної кількісної оцінки структури викидів забруднень у довкілля. Результати моделювання довели, що загальний викид забрудників у довкілля від використання палив суттєво збільшується в ланцюжку: деревина → природний газ → вугілля, в основному завдяки збільшенню викидів вуглекислого газу. В цьому дослідженні оцінювався узагальнений викид шкідливих речовин у довкілля, спричинений спалюванням енергоресурсів з метою отримання теплової енергії, без урахування ефективності негативного впливу кожного компонента.

**Ключові слова:** біомаса, короткоротаційні плантації дерев, викопні джерела енергії, викид шкідливих речовин у довкілля, математичне моделювання забруднення.

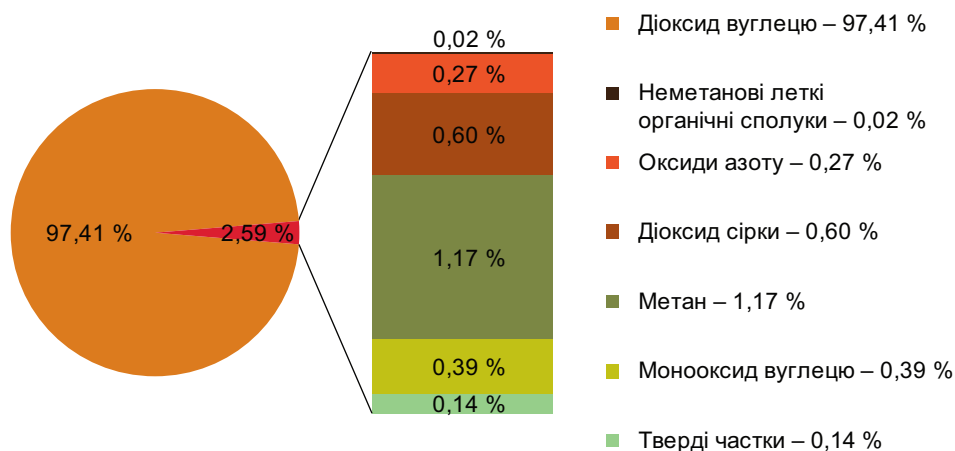
### ВСТУП

Гарантування енергетичної безпеки – одне із пріоритетних завдань для функціонування всіх галузей економіки та забезпечення соціальної стабільності в державі.

У цьому разі екологічна прийнятність енергетики є невід'ємною частиною поняття "енергетична безпека". У зв'язку з активним розвитком техносфери стрімко зростає негативний вплив викидів різної природи на довкілля, що сприяє загостренню екологічної ситуації, погіршенню здоров'я і тривалості життя населення. Традиційні способи виробництва теплової та електричної енергії в котельнях і ТЕС супроводжуються різнобічним глобальним та локальним впливом на довкілля: викиди двоокису вуглецю (теплове забруднення), окису вуглецю, оксидів нітрогену та сірки, викиди канцерогенних вуглеводнів [5]. Промислові й автомобільні викиди призводять до накопичення важких металів і загазованості повітря. Усе це не лише негативно впливає на довкілля, а й несе пряму загрозу здоров'ю людини внаслідок акумуляції шкідливих речовин у ґрунті, воді та рослинах. Натомість перехід до використання відновлюваних джерел енергії на об'єктах теплогенерації, зокрема біопалива з деревини, здатний суттєво зменшити антропогенне навантаження на довкілля.

За даними Статистичного щорічника, протягом 2013 р. в атмосферу України надійшло близько 237 млн т забруднюючих речовин від стаціонарних і пересувних джерел забруднення. При цьому викиди метану й оксиду азоту, які належать до парникових газів, становили відповідно 928,7 і 15,4 тис. т, а викиди діоксиду вуглецю, який також впливає на зміну клімату, – 230,7 млн т [19].

Крім цих поллютантів, у 2013 р. від стаціонарних і пересувних джерел забруднення в атмосферу надійшли значні кількості сірчистого та чадного газів (рис. 1).



**Рис.1.** Структура викидів шкідливих речовин в атмосферу від стаціонарних і пересувних джерел забруднення у 2013 році [19]

**Fig. 1.** Structure of hazardous substances emission to atmosphere from static and displaceable sources of pollution in 2013 [19]

Значні викиди забруднень обумовлені використанням викопних видів палива на об'єктах енергогенерації. Велика енергоємність промисловості, невисокі димові труби, недосконалість процесів спалювання, низький ККД обладнання та великі втрати тепла в теплотрасах, високий рівень зношеності основних фондів енергогенеруючих підприємств і відсутність виробництв газоочисного обладнання ще більше ускладнюють ситуацію. Використання відновлюваних джерел, зокрема, деревної біомаси, для продукування енергії супроводжується меншими кількостями викидів забрудників у атмосферу та характеризується локальним тепlopостачанням, а отже,

зменшенням втрат тепла в теплотрасах, завдяки чому цей підхід давно практикується у більшості країн ЄС та світу (Данія, Швеція, Австрія, Італія, США) в рамках переходу до “зеленої економіки”. Натомість в Україні отримання енергії з біомаси на даний час широко не практикується.

## МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Метою роботи була оцінка загального кількісного та якісного викиду шкідливих речовин у довкілля під час використання викопних видів палива (природний газ, вугілля) та відновлюваних джерел (біомаса деревини) на об'єктах генерації енергії. Для порівняння структури викидів забруднень у довкілля під час спалювання викопних видів палива та відновлюваних джерел було розроблено математичну модель. Для проведення розрахунків за основу брали дані по викидах, наведені в літературі [6], які перераховували з розрахунку на 1 кВт·год енергії (1 кВт·год = 0,0034 MMBtu\*), та будували діаграму з логарифмічною шкалою в полярній системі координат, використовуючи програму Excel. Площі фігур розраховували за формулою:

$$S_i = \frac{1}{2} \cdot \left( x_{1i} \cdot x_{mi} + \sum_{n=1}^{m-1} x_{ni} \cdot x_{(n+1)i} \right) \cdot \sin \frac{2\pi}{m},$$

де:  $S_i$  – загальний викид шкідливих речовин у довкілля від спалювання  $i$ -го енергоресурсу;  $m$  – кількість видів викидів шкідливих речовин у довкілля ( $m = 7$ );  $x_{ni}$  – кількість (у мг/кВт·год)  $n$ -го викиду шкідливої речовини від спалювання  $i$ -го енергоресурсу.

## РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ І ЇХНЄ ОБГОВОРЕННЯ

Найбільш безпечним в екологічному сенсі викопним паливом вважається природний газ, оскільки у продуктах його згоряння немає золи, а викиди оксидів сірки, що утворюються у ході спалювання, є незначними порівняно з викидами від використання інших викопних ресурсів, завдяки дуже низькому вмісту сірки у природному газі (до 0,02 %). Однак Україна недостатньо забезпечена власним природним газом та іншими викопними енергоресурсами (рис. 2). Завдяки власному видобутку потреби країни можуть бути забезпечені лише частково: нафтою – на 10–12 %, природним газом – на 20–25 %, вугіллям – на 85–90 % [25].

Для зменшення залежності від імпортерів, в Україні розпочали пошуки альтернативних джерел енергії та розробку нетрадиційних технологій видобутку викопного палива. Однією з таких технологій є видобуток сланцевого газу, що міститься в дрібнозернистих осадових породах, які характеризуються відносно високим вмістом органічної речовини та мають низьку пористість і дуже низьку проникність [22]. Технологія видобутку сланцевого газу передбачає нагнітання високого тиску в породі внаслідок постачання в неї через свердловину робочої рідини – пропанту, яка викликає гідравлічний розрив пласта і відкриває доступ до сланцевого газу. Для отримання пропанту використовують величезну кількість води (від 11 до 15 тис. м<sup>3</sup> для однієї свердловини) [12] та понад 500 різних хімічних речовин, серед яких важкі метали і природні радіоактивні матеріали [12; 21]. Після розриву пласта утворення в ньому тріщин неможливо контролювати, а це може призвести до змішування прісних і сольових ґрунтових вод, що в подальшому перетвориться на багатокілометрові солончаки на місці полів і лісів.

\* MMBtu – мільйон британських теплових одиниць

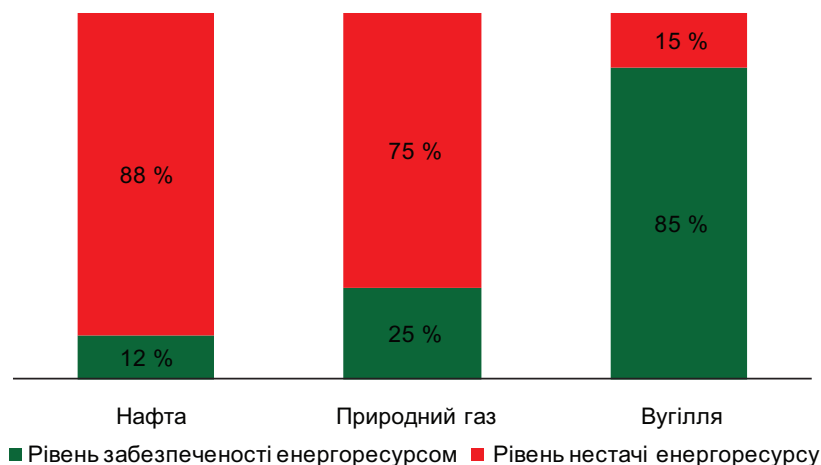


Рис. 2. Забезпеченість України власними викопними енергоресурсами [25]

Fig. 2. Fossil fuels provision in Ukraine [25]

Під час буріння свердловин для видобутку сланцевого газу, крім водного середовища, суттєво забруднюється повітря. У США (єдиній, крім Канади, країні, що має практичний досвід видобутку сланцевого газу) було підтверджено забруднення повітря внаслідок буріння свердловин бензолом та іншими потенційно токсичними нафтовими вуглеводнями (такими як етилбензол, толуол і диметилбензол), які викликають подразнення слизової оболонки очей, головний біль, біль у горлі, проблеми з диханням і високий ризик захворювання на рак, зокрема, лейкемію [4]. Крім того, транспортування і зберігання природного газу є вибухонебезпечними.

Як видно з рис. 2, на даний час вугілля – єдиний викопний енергоресурс, потребу в якому Україна може майже цілком покрити за рахунок власних запасів, однак його видобуток також тягне за собою серйозні екологічні наслідки. Видобуток вугілля призводить до утворення підземних порожнин і нагромадження відвалів гірської породи – териконів. Підземні порожнини з часом провалюються, а прилегла поверхня поступово просідає та затоплюється ґрунтовими водами, що призводить до руйнування природних екосистем. Терикони ж не лише псують природний ландшафт, а й становлять значну небезпеку для людей. Вугілля всередині відвалів здатне до самозаймання, у ході якого відбувається виділення фтору та хлору (на початкових етапах горіння), розклад карбонатів до моно- та діоксидів вуглецю, а також дегідратація силікатів, унаслідок чого вивільнюється велика кількість води, забрудненої різноманітними хімічними сполуками [9]. Перегоряючи, терикони стають крихкими, виникає реальна небезпека обвалів.

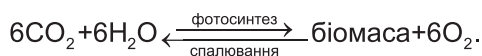
Крім екологічних наслідків, що спричиняє видобуток вугілля, його спалювання також супроводжується низкою проблем. Вугілля не можна назвати ідеальним паливом: окрім посередніх теплотворних характеристик (17–25 МДж/кг), у процесі його згоряння в атмосферу надходять великі кількості золи, оксидів вуглецю й азоту, діоксид сірки, вуглеводні, в тому числі канцерогенний бензапірен, та незгорілі частинки твердого палива. Так, сучасна ТЕС потужністю 2,5 млн кВт, що використовує до 20 тис. т вугілля на добу, викидає щодобово в атмосферу 680 т SO<sub>2</sub> та SO<sub>3</sub> (при вмісті 1,7 % сірки в паливі), 200 т оксидів азоту NO<sub>x</sub>, а також 120–240 т твердих часток у вигляді попелу, пилу і сажі (за умови ефективності системи пиловловлювання

94–98 %) [18]. Суттєву небезпеку несуть частки золи, що викидаються в атмосферу у вигляді твердих частинок і розсіюють радіоактивний пил. Під час спалювання вугілля на ТЕС у викидах зростає вміст радію-226 (в 3–6 разів) і свинцю-210 (в 5–10 разів), причому останній накопичується в попелі [14]. Середній вміст урану у вугіллі становить 3,6 г/т, торію – 4,2 г/т. Тому ТЕС, які працюють на вугіллі, значно забруднюють прилеглі території, інколи на сотні кілометрів, радіоактивними елементами. В їхніх околицях радіоактивність може значно перевищувати гранично допустимі норми, причому таке забруднення перевищує те, яке створюють атомні станції, котрі працюють у безаварійному режимі. Не менш небезпечним є спалювання вугілля у приватних господарствах, котрі не мають високих труб і належних систем очищення [14]. Усі ці явища негативно впливають на здоров'я населення. Зокрема, на прилеглих до ТЕС територіях спостерігаються масові ураження силікозом, а також гіпоплазія зубів і патологія скелету у дітей [13].

Україна – агропромислова держава, яка має величезні незадіяні ресурси [15]. Економічно доцільний енергетичний потенціал біомаси в Україні становить близько 20–25 млн т у.п./рік. Основними складовими цього потенціалу є відходи сільськогосподарського виробництва (солома, стебла кукурудзи, стебла соняшнику і т.п.) – більше 11 млн т у.п./рік та плантації енергетичних культур – близько 10 млн т у.п./рік [7]. Отримання біопаливної сировини, зокрема, деревної біомаси, супроводжується низкою позитивних екологічних ефектів. Ще 2000 років тому тополі та верби використовували для захисту посівних культур і створення вітрозахисних лісосмуг. Високорослі та нещільні насадження добре підходять для контролю і запобігання вітровій ерозії ґрунту, щільноростучі чагарникові види створюють позитивний мікроклімат для польових культур і захищають від снігових заносів та буревіїв [11]. Для деревних насаджень характерне більше видове різноманіття, порівняно з насадженнями польових культур. Вирощування навіть швидкозміняних промислових тополиних плантацій має значний позитивний вплив на дикі види рослин і тварин [2; 16].

Вирощування енергетичних плантацій – раціональний спосіб використання деградованих і еродованих ґрунтів. Тополі та верби є, фактично, ідеальними рослинами для фітореMediaції, оскільки вони здатні рости в широкому діапазоні природних умов, мають глибокі корені та більшу тривалість життя порівняно з трав'янистими рослинами. Ці дерева здатні до рекультивації виснажених земель завдяки активному збагаченню ґрунтів (близько 60–80 % поживних речовин повертаються в землю разом з опалим листям) [7]. З'ясовано, що тополі можуть мінералізувати деякі шкідливі та канцерогенні речовини: галогенізовані вуглеводні (тетрахлорид карбону, вініл хлорид, трихлоретилен, бензол, хлороформ) [10; 24], гербіциди, пестициди, інсектициди, важкі метали (селен, свинець, кадмій, ртуть, мідь, цинк) [1; 9] та ін. хімічні сполуки з повітря, ґрунту і води.

Проблема глобальних змін клімату – одне з найбільш обговорюваних питань, що турбує всі екологічні асоціації у світі. Після ратифікації Україною вимог Кіотського протоколу наша держава взяла на себе зобов'язання знизити викиди вуглекислого газу. Одна з найважливіших послуг, які ліс надає планеті й людству, – стабілізація клімату, а саме захоронення вуглецю (поглинання  $\text{CO}_2$ ) і сонячної енергії у процесі фотосинтезу, що відбувається згідно з брутто-реакцією:



У разі щорічного приросту біомаси за сухою речовиною 8–12 т/га дерева депонують з атмосфери 4–6 т/га вуглецю [23] та продукують близько 3–4,5 т/га кисню протягом року.

За даними [6], у процесі спалювання деревини емісія вуглекислого газу в атмосферу становить 320 216 мг CO<sub>2</sub>/кВт·год. Однак варто взяти до уваги, що в ході використання деревини як джерела енергії реалізується умовний нульовий баланс по вуглекислому газу: під час згоряння біомаси в атмосферу виділяється стільки CO<sub>2</sub>, скільки було адсорбовано у процесі фотосинтезу в період росту рослин [20], а у разі згоряння викопного пального, навпаки, вивільнюється вуглець, накопичений за мільйони років. Безумовно, не можна стверджувати, що біопаливо є повністю CO<sub>2</sub>-нейтральним, адже для закладання плантації, збирання врожаю і транспортування біопалива необхідне використання машин, які працюють на викопному паливі (так само як і для видобутку викопних енергоресурсів) [25], проте емісія вуглекислого газу при повному життєвому циклі твердого біопалива значно менша порівняно з мінеральними енергоресурсами. Крім того, частина вуглецю фіксується у ґрунті завдяки опаданню листя, що робить деревні рослини більш привабливим біопаливним матеріалом порівняно з однорічними польовими культурами. Значення окремих викидів забруднень у довкілля в ході спалювання викопного палива і деревини (в розрахунку на 1 кВт енергії на годину) представлені в таблиці.

#### Викиди забрудників у атмосферу під час спалювання різних видів палива [6] Air emission of pollutants from burning of different types of fuels [6]

Вид викиду	Деревина (мг викидів/ кВт·год)	Вугілля (мг викидів/ кВт·год)	Природний газ (мг викидів/ кВт·год)
Оксиди азоту	154,77	588,12	12,69
Монооксид вуглецю	541,69	38,69	7,74
Сірчистий газ	38,69	278,58	4,33
Тверді частки	30,95	30,95	12,85
Метан	30,95	3,40	13,00
Закис азоту	20,12	23,33	3,10
Діоксид вуглецю	0,00	331 202,00	181 078,00

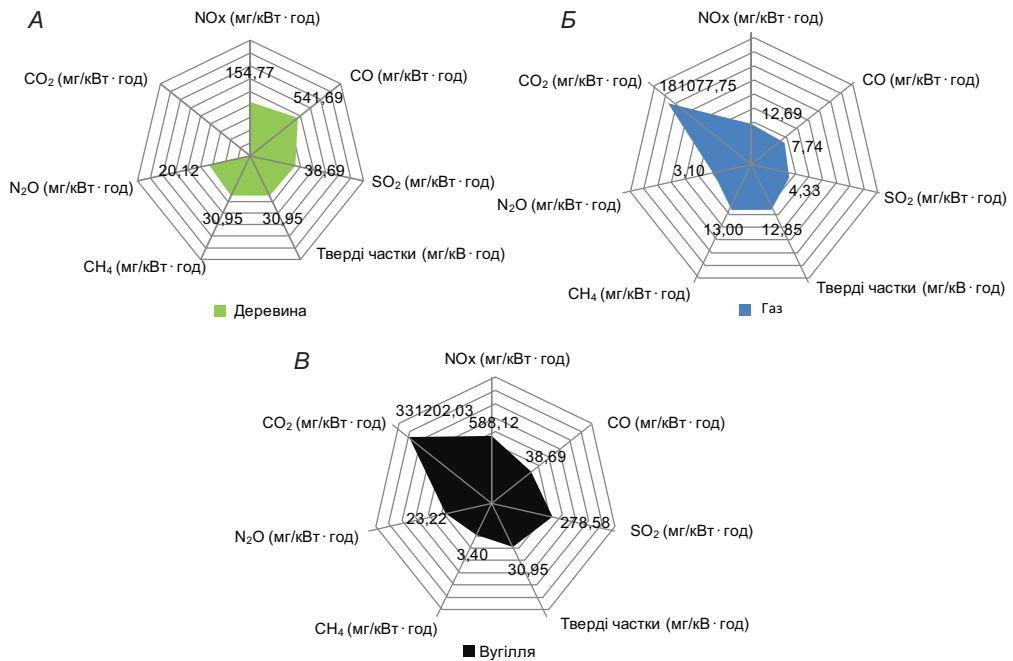
Для оцінки загального викиду шкідливих речовин у довкілля в ході спалювання викопного палива та деревини наведені в таблиці дані доцільно розглянути на діаграмі з логарифмічною шкалою в полярній системі координат (рис. 3). Отримані для кожного виду палива фігури описують структуру викидів шкідливих речовин у довкілля від використання відповідного виду палива на об'єктах енергогенерації: чим більша площа утвореної фігури, тим більший загальний викид шкідливих речовин.

Підставивши у формулу дані з таблиці, отримуємо, що загальний викид забруднень у довкілля від використання різних видів палива суттєво збільшується в ланцюжку: деревина → природний газ → вугілля ( $S_{\text{дер.}} = 42\,054$  у.о.,  $S_{\text{п.г.}} = 1\,117\,890$  у.о.,  $S_{\text{вуг.}} = 79\,169\,591$  у.о.), в основному завдяки збільшенню викидів вуглекислого газу. При цьому у використаній формулі наведено узагальнений викид шкідливих речовин без урахування сили їхніх негативних ефектів.

Подібні оцінки потребують більш глибокого дослідження, оскільки негативні ефекти можуть виявлятися на різних ступенях екосистеми й організму (токсичність,



мутагенність, тератогенність, канцерогенність тощо). Також варто зазначити, що в цьому дослідженні оцінювали загальний викид шкідливих речовин у довкілля тільки від спалювання викопних та відновлюваних енергоресурсів на стаціонарних джерелах забруднення. Вплив викидів шкідливих речовин від пересувних джерел забруднення (автотранспорт) не розглядали.



**Рис. 3.** Структури викидів шкідливих речовин у довкілля від використання деревини (А), природного газу (Б), вугілля (В) на об'єктах енергогенерації (у полярній системі координат з логарифмічною шкалою)

**Fig. 3.** Structures of hazardous substances emission in environment from using wood (A), natural gas (B), coal (B) on energy generation facilities (in polar coordinate system with logarithmic scale)

Без сумніву, несприятливі фактори впливу на довкілля при використанні біомаси мають місце. Як видно з таблиці, пряме спалювання деревини супроводжується збільшенням обсягів викидів метану та чадного газу порівняно зі спалюванням вугілля, однак обумовлює суттєве зниження обсягів викидів оксидів сірки й азоту. При цьому кількість викидів шкідливих речовин залежить від вибору обладнання і технології енергоконверсії: спалювання біомаси вологістю 55–60 % не тільки значно зменшує вихід теплової енергії, а й порушує сам процес спалювання, що і є причиною збільшення емісії чадного газу, метану та оксидів азоту, а також підвищує кількість деревного вугілля в попелі [3]. Використання сировини з високим вмістом вологи унеможливорює створення безперервного процесу горіння через те, що частина енергії витрачається на підсушування матеріалу, а це, у свою чергу, призводить до неповного окиснення карбону й утворення чадного газу. Попереднє висушування біомаси та зниження у ній вмісту вологи до 10–15 %, що є невід'ємною стадією виробництва біопаливних пелет, суттєво знижує кількість шкідливих викидів у процесі спалювання [3].

## ВИСНОВКИ

Використання деревини на об'єктах енергогенерації дасть Україні змогу не лише частково відмовитися від використання імпортованих видів викопного палива на користь власних відновлюваних енергоресурсів, а й суттєво зменшить антропогенне навантаження на довкілля та забезпечить зниження теплового забруднення (глобальне потепління) завдяки зменшенню викидів вуглекислого газу. На основі запропонованої моделі було виявлено, що загальний викид шкідливих речовин від спалювання деревного біопалива становить 42 054 у.о., що є у 26,6 разу менше ніж від спалювання природного газу та в 1 882,6 разу менше ніж вугілля.

Отже, наші розрахунки доводять, що вирощування короткоротаційних плантацій тополь і верб та використання біомаси для отримання теплової енергії позитивно впливатиме на довкілля.

Дослідження проведене за підтримки цільової комплексної науково-технічної програми наукових досліджень НАН України "Біологічні ресурси і новітні технології біоенергоконверсії" (2013–2017, проект № 13–13 "Створення генофонду високопродуктивних клонів тополь та швидкорослих плантацій біопаливного матеріалу") та науково-технічного проекту НАН України (2015) "Розробка та впровадження короткоротаційних плантацій тополь як екологічно корисного джерела біопалива для альтернативної енергетики України".

1. Ali H., Khan E., Sajad M.A. Phytoremediation of heavy metals – Concepts and applications. **Chemosphere**, 2013; 91(7): 869–881.
2. Berthelot A., Augustin S., Godin J., Decocq G. Biodiversity in poplar plantations in the Picardie region of France. **UNASYLVA-FAO**, 2005; 56(2): 18–19.
3. Blyum Ya.B., Geletukha G.G., Grigoryuk I.P. et al. **The scientific technologies of bioenergy conversion**. Agrar Media Group, 2010, 326 p. (In Ukrainian).
4. Charman K. Trashing the planet for natural gas: shale gas development threatens freshwater sources, likely escalates climate destabilization. **CNS**, 2010; 21(4): 72–82.
5. Dugan A.M., Barilyak I.R. Mutagenic activity of airborne particles in industrial Ukrainian cities. **Cytology and Genetics**, 1995; 26(5): 28–34.
6. Forest Biomass and Air Emissions. **Washington State Department of Natural Resources**, Electronic Source: [http://www.eesi.org/files/em\\_forest\\_biomass\\_and\\_air\\_emissions\\_factsheet\\_8.pdf](http://www.eesi.org/files/em_forest_biomass_and_air_emissions_factsheet_8.pdf)
7. Geletukha G., Zheliezna T., Tryboi O. Prospects for planting and using the energy crops in Ukraine. **Industrial Heat Engineering**, 2015; 37(4): 53–60. (In Russian).
8. Halushka V.P., Tretyak P.R. Ecological problems of miner's region. **Proc. Forest Academy of Sciences of Ukraine**, 2007; 5: 98–102. (In Ukrainian).
9. Hound Z., Bejaoui Z., Albouchi A. et al. Comparative study of plant growth of two poplar tree species irrigated with treated wastewater, with particular reference to accumulation of heavy metals (Cd, Pb, As, and Ni). **Environmental Monitoring and Assessment**, 2016: 99–109.
10. Hur M., Kim Y., Song H. et al. Effect of genetically modified poplars in soil microbial communities during the phytoremediation of waste mine tailings. **Applied and Environmental Microbiology**, 2011; 77(21): 7611–7619.
11. Isebrands J.G., Richardson J. **Poplars and willows: trees for society and the environment**. CABI, 2014, 634 p.
12. Kalinichenko A.V., Kopishinska O.P., Kopishinskij A.V. Environmental risks of shale gas production on gas-bearing areas in Ukraine. **Visnyk of Poltava State Agrarian Academy**, 2013; 2: 127–131.
13. Karpachova N. Submission of Commissioner for Human Rights to Ukrainian Parliament „**About the Ministry of Health activities due to children incidence for teeth hypoplasia and skeletal bone disease in Chervonograd mining industrial district in Lviv region**” [http://www1.ombudsman.gov.ua/en/index.php?option=com\\_content&view=article&id=314:2011-03-31-08-386-31&catid=64:2001&Itemid=86](http://www1.ombudsman.gov.ua/en/index.php?option=com_content&view=article&id=314:2011-03-31-08-386-31&catid=64:2001&Itemid=86) (In Ukrainian).



14. *Kizilshtejn L. Ya.* Coal and radioactivity. **Chemistry and Life**, 2006; 2: 24–30. (In Russian).
15. *Kolomyychenko M., Apalkov S., Ignatenko T.* **Economic basement for switching to heating by solid biofuels. Harmonization of Ukrainian and EU standards.** Ukrainian Pellet Union, 2014. 46 p. (In Ukrainian).
16. *Kutsokon N.K.* Main trends in genetic transformation of *Populus*. **Cytology and Genetics**, 2011; 45(6): 67–78 (In Ukrainian).
17. *Lee K.Y.* **Phytoremediation of chlorpyrifos insecticide: the use of woody plants and transgenics to enhance and understand the uptake, translocation, and transformation of chlorpyrifos.** Diss. 2013, 92 p.
18. *Mislyuk Ye.V., Mislyuk O.O., Stolyarenko G.S.* Operational factors influence on energy preservation and environmental safety of energy production technologies. **Bulletin of Cherkasy State Technological University**, 2009; 4: 81–86.
19. Office of national statistics. **Ukrainian Statistical Annals 2013.** Kyiv, 2014. 533 p. (In Ukrainian).
20. *Proe M.F., Griffiths J.H., Craig J.* Effects of spacing, species and coppicing on leaf area, light interception and photosynthesis in short rotation forestry. **Biomass and Bioenergy**, 2002; 23: 315–326.
21. *Rubel O., Zinchenko Yu.* Environmental and economic risks of shale gas production in Ukraine. **Economic Innovations**, 2013; 52: 171–183. (In Ukrainian).
22. *Terentyeva K.Yu.* Prediction of ecological influence of shale gas production technologies on Olesk area. **ScienceRise**, 2015; 6(2): 84–89. (In Ukrainian).
23. *Tretyak P.* Bioenergetics of forest landscape: conception, metrization and rational nature management. **Visnyk of Lviv University (Geography)**, 2014; 45: 11–19. (In Ukrainian).
24. *Van Aken B.* Transgenic plants for phytoremediation: helping nature to clean up environmental pollution. **Trends Biotechnol.**, 2008; 26(5): 225–227.
25. *Zaharchenko D., Svetlichnaya Yu.* Prospects of use of alternative kinds of fuel in Ukraine. **Theoretical and Practical Aspects of Economics and Intellectual Property**, 2011: 2: 89–94. (In Ukrainian).

## QUANTATIVE AND QUALITATIVE EVALUATIONS OF ENVIRONMENTALLY DANGEROUS WASTES EMISSION FROM BURNING WOOD COMPARING TO NATURAL GAS AND COAL

**L. Khudolieieva<sup>1</sup>, N. Kutsokon<sup>2</sup>, N. Rashydov<sup>2</sup>, O. Dugan<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>*National Technical University of Ukraine “Kyiv Polytechnic Institute”  
37, Peremogy Ave., Kyiv 03056, Ukraine*

<sup>2</sup>*Institute of Cell Biology and Genetic Engineering, NAS of Ukraine  
148, Akademik Zabolotnyi St., Kyiv 03143, Ukraine  
e-mail: kutsokon@gmail.com*

A search for ecologically convenient technologies for energy production is becoming more important due to constant increase in anthropogenic environmental load. Using the renewable resources for energy producing, particularly wood biomass from short rotation tree plantations, is accompanied by less pollutants emission into atmosphere. The technology is popular for a long time in many countries, especially in EU, but in Ukraine it is not widely used. However, there are several important prerequisites for this, particularly lower emission of hazardous substances to environment and existence of significant amount of the soils, unsuitable for traditional crops farming but where planting of short rotation tree plantations is possible. A mathematical model has been developed to evaluate the total pollutants emission to environment from using fossil (natural gas, coal) and renewable (wood biomass) sources of energy production facilities, and a new approach for comparative quantitative evaluation of environmental emission of hazardous substances composi-

tion has been proposed. It was shown that total pollutants emission in environment from using different fuels types is significantly increased in rank: wood → natural gas → coal, mainly because of increasing carbone dioxide emission. The total emission of pollutants to environment caused by burning of the energy sources for heat production was evaluated, but the negative impact efficiency for each separate component was not taken into account.

**Keywords:** biomass, short rotation tree plantations, fossil fuels, pollutants emission in environment, mathematical modeling.

## КОЛИЧЕСТВЕННЫЕ И КАЧЕСТВЕННЫЕ ОЦЕНКИ ВЫБРОСОВ ВРЕДНЫХ ВЕЩЕСТВ В ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ ПРИ СЖИГАНИИ ДРЕВЕСИНЫ В СРАВНЕНИИ С ПРИРОДНЫМ ГАЗОМ И УГЛЕМ

Л. В. Худолеева<sup>1</sup>, Н. К. Куцоконь<sup>2</sup>, Н. М. Рашидов<sup>2</sup>, О. М. Дуган<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Национальный технический университет Украины "Киевский политехнический институт"  
просп. Победы, 37, Киев 03056, Украина

<sup>2</sup>Институт клеточной биологии и генетической инженерии НАН Украины  
ул. Академика Заболотного, 148, Киев 03143, Украина  
e-mail: kutsokon@gmail.com

В условиях постоянного увеличения антропогенной нагрузки на окружающую среду поиск экологически приемлемых технологий получения энергии становится все более актуальным. Использование возобновляемых источников, в частности, древесной биомассы, выращенной на короткоротационных плантациях, для получения энергии сопровождается меньшим количеством выбросов загрязняющих веществ в атмосферу и давно практикуется в большинстве стран ЕС и мира, однако в Украине не имеет широкого применения. Хотя для этого существует ряд важных предпосылок, в частности, невысокие выбросы вредных веществ при сгорании древесины и наличие значительного количества площадей, непригодных для использования в аграрном секторе, где возможно создание короткоротационных плантаций древесных растений. В статье разработана математическая модель для оценки общего выброса вредных веществ в окружающую среду при использовании ископаемых (природный газ, уголь) и возобновляемых (древесная биомасса) видов топлива на объектах генерации энергии и предложен новый подход для сравнительной количественной оценки структуры выбросов загрязнений в окружающую среду. Результаты моделирования показали, что общий выброс загрязнений в окружающую среду при использовании топлива существенно увеличивается в цепочке: древесина → природный газ → уголь, в основном за счет увеличения выбросов углекислого газа. В данном исследовании оценивался обобщенный выброс вредных веществ в окружающую среду, вызванный сжиганием энергоресурсов с целью получения тепловой энергии, без учета эффективности негативного воздействия каждого компонента.

**Ключевые слова:** биомасса, короткоротационные плантации деревьев, ископаемые источники энергии, выброс вредных веществ в окружающую среду, математическое моделирование загрязнений.

Одержано: 27.07.2016