

УДК 628:38

Д. В. Степанов, к. т. н., доц.; С. Й. Ткаченко, д. т. н., проф.;
А. П. Ранський, д. х. н., проф.

ОЦІНКА МОЖЛИВОСТЕЙ ОТРИМАННЯ ЕНЕРГОНОСІЇВ З ОРГАНІЧНИХ ВІДХОДІВ З УРАХУВАННЯМ ТЕХНОГЕННОГО НАВАНТАЖЕННЯ НА НАВКОЛИШНЄ СЕРЕДОВИЩЕ

Проаналізовано процеси утворення відходів у різних галузях промисловості й сільському господарстві, оцінено можливості виробництва енергоносіїв з органічних відходів, ураховано техногенне навантаження на навколишнє середовище при виробництві енергоносіїв з відходів.

***Ключові слова:** органічні відходи, біогаз, піроліз, газогенерація, біодизель, техногенне навантаження.*

Вступ

Через швидке вичерпання і здорожчання первинних енергоносіїв, а також значне погіршення екологічної ситуації на планеті особливу увагу в усьому світі приділяють питанням виробництва альтернативних енергоресурсів та ефективним методам утилізації органічних відходів.

Згідно із Законом України "Про відходи", відходи – це будь-які речовини, матеріали і предмети, що утворилися у процесі виробництва чи споживання, а також товари (продукція), що повністю або частково втратили свої споживчі властивості і не мають подальшого використання за місцем їх утворення чи виявлення і від яких їхній власник позбувається, має намір або повинен позбутися шляхом утилізації чи видалення [1].

У свою чергу утилізація передбачає використання відходів як вторинних матеріальних чи енергетичних ресурсів.

Загалом, будь-які відходи можна розглядати як вторинну сировину. Але на цьому етапі не для всіх відходів таке перетворення є економічно обґрунтованим, хоча їхнє повторне використання дозволило б зменшити техногенне навантаження на навколишнє середовище, вичерпання корисних копалин та енергоносіїв для їхньої обробки.

Особливий клас відходів – це органічні відходи, тобто відходи, що складаються з органічних речовин з карбон-карбоновими зв'язками [2]. На сьогодні найпоширенішими методами поводження із зібраними та відсортованими органічними відходами є захоронення або депонування, компостування та спалювання із захороненням залишків. Особливу увагу слід приділити органічним відходам, придатним до гниття (бродіння) – відходам рослинництва, тваринництва, харчової та переробної галузі. Традиційні методи їхньої переробки призводять до значних хімічних і біологічних забруднень, погіршення умов праці робітників.

Ті відходи, які не можна використати для виробництва неенергетичної продукції, можна утилізувати з виробництвом енергоносіїв – рідких біопалив, піролізного, генераторного газу, біогазу, теплової та електричної енергії. Це особливо стосується утилізації токсичних відходів.

Метою цієї роботи є оцінка можливостей виробництва енергоносіїв з органічних відходів з урахуванням техногенного навантаження на навколишнє середовище.

Класифікація енергоносіїв з відходів та методів їх отримання

Під час енергетичного використання відходів можна отримати різні енергоносії:

– газові – піролізний газ, генераторний газ, синтез-газ, біогаз, метан;

- рідкі – горючі смоли, біодизель, біоетанол тощо;
- тверді – деревне вугілля, вугільний залишок, кокс тощо;
- теплову енергію в теплогенераторах, газогенераторах, піролізних і когенераційних установках;
- електричну енергію в паротурбінних, газотурбінних циклах і в газопоршневих двигунах.

Один з поширених методів енергетичної утилізації відходів – пряме спалювання із захороненням залишків. Майже всі органічні відходи можна використовувати як паливо. Нижня межа теплоти згорання відходів, які можна спалювати без додаткових витрат палива, 3,35...4,19 МДж/кг. За Таннером [3], умовами спалюваності речовини є: вологість не більше 50 %; зольність не більше 60%; вміст горючих речовин не менше 25%.

У результаті прямого спалювання відходів можна отримувати теплову, або теплову та електричну енергії. Середня теплота згорання твердих побутових відходів складає 6,3 МДж/кг.

Згідно з результатами досліджень [4], відходи перед спалюванням повинні бути ретельно відсортовані, оскільки спалювання деяких органічних складників, наприклад, текстилю, пластику дає набагато більший шкідливий вплив на навколишнє середовище, ніж ефект від заміщення первинних енергоносіїв.

Проведений авторами [5] аналіз ефективності різних методів переробки органічних відходів показав, що сміттєспалювальні технології можуть виробляти велику кількість теплоти, але їхній ККД з виробництва електроенергії невисокий. Крім того, такі системи характеризуються великою токсичністю за викидами в атмосферу і мають найбільші інвестиційні витрати.

Системи піролізу і газогенерації відходів є найперспективнішими, на думку автора [4]. Вони дозволяють отримувати горючий газ з теплотою згорання 5...20 МДж/м³ [6], який можна транспортувати на відстані або використовувати як моторне паливо після ретельного очищення. Додатковим продуктом такої переробки є вугільний залишок.

Реалізація проекту по піролізу 75 т/добу відходів деревини в Мексиці показала низькі концентрації шкідливих речовин під час переробки (у 2...9 разів нижче допустимих) та достатньо високі економічні показники: капіталовкладення 11,3 млн. дол. США, термін окупності 4...5 років [7].

Одним із найперспективніших, на нашу думку, методів переробки органічних відходів є анаеробне зброджування. У результаті анаеробного бродіння, залежно від складу відходів (див. табл. 1), отримують якісний горючий газ із теплотою згорання 20...24 МДж/м³.

Таблиця 1

Вихід біогазу і вміст метану в ньому залежно від сировини

Клас речовин	Вихід біогазу, л/г субстрату	Вміст метану, %
Вуглеводи	0,83	50
Білки	0,72	71
Жири/масла	1,43	70

Вихід біогазу з різних органічних відходів залежить від морфологічного і елементарного складу, орієнтовний вихід біогазу з відходів складає [8], м³/тонну: гній ВРХ – 40; гнійні стоки ВРХ – 20; гній свиней – 35; гнійні стоки свиней – 15; осад стічних вод – 5; гній птахів – 40; овочеві відходи – 48; відходи пивоварень – 200; відходи ресторанів – 189; відходи обробки риби і риб'ячого жиру – 300; відходи переробки молока – 50; відходи нафтопереробки – 500; трава (суха речовина 33%) – 165; соняшник (суха речовина 23%) – 90; ріпаківий жмих (суха речовина 90%) – 620; барда (суха речовина 31%) – 250.

Біогазові технології більш вимогливі до якості органічних відходів. На відміну від термічних методів утилізації, у біогазових установках необхідно забезпечити біохімічну якість сировини, її неокисненість.

Біогаз може транспортуватися на відстань, спалюватися в газових котельних установках після нескладного регулювання пальників [9], використовуватися як моторне паливо.

Порівняльний аналіз моторних палив з погляду техногенного навантаження [10] показав, що метан, отриманий з органічних відходів із використанням анаеробного зброджування, має найнижчий негативний вплив на навколишнє середовище порівняно з іншими біопаливами, бензином, дизпаливом.

Після вилучення CO₂ біогаз може відпускатися в мережу природного газу. Реалізація такого проекту [11] підтвердила його економічну доцільність і зменшення техногенного навантаження на навколишнє середовище.

Біогазові установки дозволяють отримувати високоякісний зброджений субстрат, який можна використовувати для безпосереднього внесення в ґрунт, отримання кормових добавок тощо. Причому економічні ефекти від використання зброженого субстрату можуть значно перевищувати ефекти від використання біогазу.

Закордонними дослідниками [12] виявлено найбільш економічно доцільні на сьогодні і в перспективі нетрадиційні енергетичні технології (табл. 2).

Таблиця 2

Витрати на різні відновлювані джерела енергії

	Витрати 2005р., межі € / ГДж	Витрати 2005 р., у середньому €/ГДж	Очікувані зменшення середніх витрат до 2030 р., % від витрат 2005 р.
Сонячна енергетика	8 – 226	52	-42
Сонячна тепла енергетика та холододоставання	11 – 307	66	-44
Біоенергетика, обігрів пелетами	8 – 99	26	-5
Біоенергетика, анаеробна біоконверсія	6 – 32	15	-3
Геотермальна енергетика, середні глибини	0,5 – 11	2	+11
Геотермальна енергетика, великі глибини	1 – 24	3	-13

Подальший розвиток систем біоконверсії слід спрямувати на підвищення ефективності процесу переробки (збільшення частки перетворення речовин) і більш ефективного використання отриманих енергоресурсів. Останнім часом швидко розвиваються технології отримання моторного палива – біодизелю з використанням олії культур рослинного походження: ріпаку, соняшника, кукурудзи, пальмового масла тощо. Однак робіт із використанням органічних відходів як сировини для виробництва біодизелю недостатньо.

У зв'язку з цим нами проведено дослідження можливості використання органічних відходів спиртових виробництв як складників синтезу біодизелю – алкілових естерів насичених і ненасичених карбонових кислот із кукурудзяної олії. Це дозволяє отримати біодизель із значно меншою собівартістю, використовувати замість метанолу нетоксичні алкілові спирти, зменшити екологічні проблеми, що пов'язані із величезними площами полів фільтрації, на які надходить спиртова барда спиртових заводів України.

Виділення екстрагенту (C₅) із сивушної фракції ректифікації етилового спирту для концентрування кукурудзяної олії із спиртової барди на ДП "Немирівський спиртовий завод" проводили методом дробної та ректифікаційної перегонки [13]. Розгонку сивушної фракції здійснювали на двох установках, які відрізнялися температурними інтервалами відбирання фракцій, складом відібраних спиртових фракцій, а також часом проведення процесу розділення.

На другій стадії відфільтровану спиртову барду екстрагували розчинником (C₅), отриманим під час ректифікаційної перегонки сивушної фракції [14], а концентровану кукурудзяну олію подавали на стадію переестерифікації (рис. 1). Реакцію переестерифікації виконували в реакторі змішування періодичної дії.

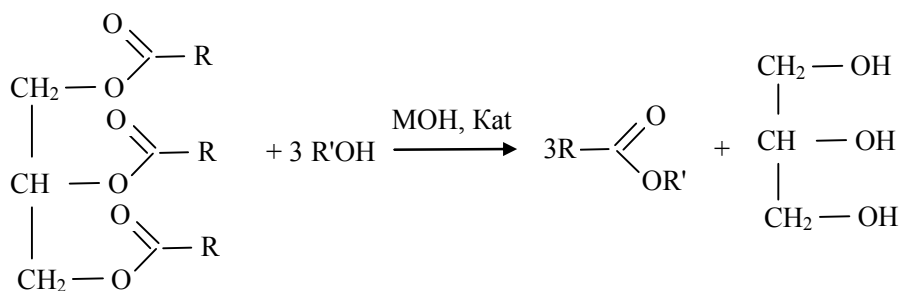


Рис. 1. Реакція переестерифікації кукурудзяної олії

Недостатньо просто виробляти енергоносії з відходів. Необхідно забезпечити їхнє виробництво із високою енергетичною та екологічною ефективністю. Не менш важливою є проблема ув'язування виробництва енергії із її споживанням.

Найефективнішим є варіант, коли поряд із системою виробництва енергоносіїв з відходів є опалювальні або інші теплотехнологічні споживачі, наприклад, сушарки, випарні апарати, печі або обладнання для використання отриманих моторних палив.

Якщо поряд немає теплотехнологічного споживача, то найефективнішим є виробництво електричної енергії.

За попередніми оцінками, використання піролізного газу, синтез-газу та генераторного газу в теплових двигунах малої потужності на сьогодні є недостатньо ефективним, оскільки необхідна вартісна і складна система очищення, збагачення та охолодження виробленого газу. Системи очищення біогазу простіші, теплота згорання біогазу висока, тому найбільшої ефективності можна досягти під час його спалювання в теплових двигунах із виробництвом теплової та електричної енергії.

Утворення відходів у різних галузях і можливості виробництва з них енергоносіїв

Можна провести класифікацію органічних відходів за основними галузями виробництва і споживання:

- сільське господарство (рослинництво, тваринництво);
- харчова і переробна промисловість;
- деревообробна промисловість;
- комунальний сектор.

У сільському господарстві органічні відходи можна поділити на відходи рослинництва та тваринництва.

Для виробництва енергії можуть бути використані будь-які рослинні рештки з високим вмістом целюлози – солома, стебла кукурудзи, соняшника та інших культур. При цьому полісахарид побудовано із елементарних ланцюгів ангідро-D-глюкози, що представляє собою полі-1, 4-β- D-глюкопіранозил- D-глюкопіранозу. Сполука (полісахарид – I – рис. 2) – головний складник стінок таких рослин: бавовни (97 – 98 %), деревини (40 – 50 % у розрахунку на суху речовину), кори рослин (80 – 90 %), стебел однолітніх рослин: кукурудзи, соняшника (30 – 40 %) тощо.

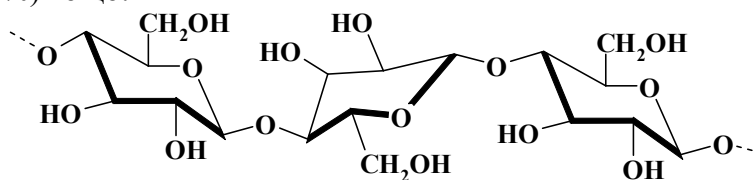


Рис. 2. Полісахарид – I

В Україні розроблено технології прямого спалювання тюкованої соломи та інших відходів. Але енергетична та екологічна ефективність таких технологій є недостатньо високою. Натомість, використання біогазових технологій для ферментації тваринницьких

відходів та їхніх сумішей із рослинними рештками або навіть енергетичними рослинами є на сьогодні досить актуальним [15].

Переробка одних тільки тваринницьких відходів у масштабах України дозволить отримати понад 3 млрд. м³ біогазу, що еквівалентно 2 млрд. м³ природного газу на рік. Згідно з даними [15], загальний енергетичний потенціал органічних відходів у сільському господарстві перевищує 34 млрд. м³/рік.

Оцінку можливостей виробництва енергії з відходів тваринництва Вінницької області наведено в таблиці 3.

Таблиця 3

Потенційні можливості анаеробної переробки тваринницьких відходів Вінницької області (на 01.01.2011)

Величина	Свині	Корови	Інша ВРХ	Птиця	Вівці, кози	Разом
1. поголів'я	439 600	179 100	138 100	10 285 300	37 700	
2. Максимальна добова кількість відходів, що необхідно переробляти, тис. тон / добу	6,59	8,96	4,83	4,11	0,38	24,87
3. Річна кількість відходів, млн. тон / рік	2,41	2,42	1,76	1,50	0,10	8,19
4. Добовий вихід біогазу, що може бути отриманий при анаеробній переробці, тис. м ³	156,94	90,09	82,17	524,55	4,74	858,5
5. Річний вихід біогазу, млн. м ³	56,50	32,43	29,58	188,84	1,71	309,06
6. Річна кількість товарної електроенергії, млн. кВт-год	102,72	58,96	53,78	343,32	3,10	561,88
7. Вартість виробленої електроенергії за рік (за ціни 1 кВт-год 0,5 грн), млн. грн/рік	51,36	29,48	26,89	171,66	1,55	280,94
8. Річна кількість товарної теплової енергії, тис. ГДж	512,7	294,3	268,4	1 713,7	15,5	2 789,2
9. Вартість виробленої за рік теплової енергії (за ціни 1 Гкал 300 грн), млн. грн/ рік	36,7	21,1	19,2	122,7	1,1	200,81
10. Річний вихід органічних добрив, млн. м ³ /рік	2,36	2,37	1,73	1,47	0,10	8,04
11. Співвідношення ефектів під час роботи БГУ, енергоносій + стабільність живлення: добрива : екологія	18+8:72:2	18+16:64:2	18+8:72:2	18+8:72:2	18+8:72:2	
12. Загальний ефект процесу біоконверсії, млн. грн/рік	489,26	280,86	256,17	1635,33	14,78	2676,40
13. Величина простого терміну окупності, років	3,5...10,5					

Причинами недостатнього впровадження установок енергетичного використання сільськогосподарських відходів є відсутність державної фінансової підтримки, значні первинні витрати. Так, капіталовкладення в 1 м³ робочого об'єму біореактора закордонного виробництва може сягати близько 500...1000 євро. Такі технології доступні лише потужним агропромисловим комплексам, де є можливість використовувати вироблену енергію та добрива. Такі підприємства мають змогу отримати право на "зелений тариф" продажу електроенергії в загальну мережу. З урахуванням усіх цих чинників є можливість отримати мінімальний термін окупності капіталовкладень (до 3 років).

У харчовій та переробній галузі утворюється величезна кількість твердих і рідких органічних відходів.

Ця галузь включає органічні відходи м'ясо-молочного, фрукто-овочевого, спиртового

виробництв, виробництва олій на олійно-жирових комбінатах тощо. При цьому відходами є: жмих та олієвмісні відходи, що утворюються під час рафінації олій (підкислені соапстоки, відпрацьовані фільтрувальні порошки, а також дистилат, що утворюється під час дезодорації олій); у м'ясній промисловості – відходи тваринних жирів; у фрукто-овочевій – відходи фруктів, овочів, насіння під час їхньої переробки; у спиртовій промисловості – сивушні масла та спиртова барда.

Утилізація таких відходів вимагає великих фінансових та енергетичних витрат.

Водночас біоконверсія органічних відходів, наприклад, спиртових, молочних заводів і м'ясокомбінатів дозволить виробляти біогаз у кількості, достатній для покриття власних енергетичних потреб підприємства.

Так, утилізація мелясної барди, що виробляється на Немирівському спиртовому заводі, у реакторах систем біоконверсії дозволить отримати понад 82% річного споживання природного газу підприємством.

У лісовій та деревообробній галузі утворюються різноманітні відходи деревини.

Починаючи із заготовки деревини (неліквідна дерев'яна сировина, вершки, сучки, пні), її обробки (відходи розпилу колод: рейки, горбилі, ошурки, стружка) та технологічної переробки: целюлозно-паперове, каніфольно-скіпідарне, дубильно-екстрактове виробництво – на всіх стадіях цих переділів накопичується значна кількість відходів, які можуть бути використані зокрема для виробництва енергоносіїв. Найефективнішими методами переробки таких відходів є піроліз та газифікація з отриманням водню, горючих газових сумішей, активованого вугілля та ін.

Переробка твердих побутових відходів набуває останнім часом особливої актуальності. Упроваджуються технології сортування сміття та переробки його частини у вторинну сировину. Харчові та інші органічні відходи, придатні до зброджування можуть, бути перероблені в біогазових установках з отриманням товарних енергоносіїв. Так, переробка придатної до зброджування частини твердих побутових відходів м. Вінниці (близько 45 тис.т/рік) дозволить виробити понад 8,8 млн м³/рік біогазу або понад 20 млн. кВт-год/рік електроенергії.

Висновки

В Україні питання виробництва енергоносіїв та підвищення ефективності їхнього використання виходить на перший план.

Швидке погіршення екологічної ситуації через накопичення відходів у різних галузях промисловості, сільському господарстві, комунальному секторі, у тому числі на стаціонарних та несанкціонованих сміттєзвалищах, вимагає рішучого впровадження перспективних методів утилізації відходів.

Велику небезпеку створюють органічні відходи, придатні до бродіння. Їхнє захоронення призводить до значних хімічних і біологічних забруднень території.

Недостатньо тільки переробляти відходи із виробництвом енергоносіїв. Необхідно використовувати технології із низьким техногенним навантаженням на навколишнє середовище.

Сміттєспалювальні технології мають значний негативний вплив на навколишнє середовище. Вироблена теплова енергія повинна використовуватись на місці виробництва, а це не завжди зручно.

Газогенерація та піроліз органічних відходів дозволяє отримувати газовий енергоносіє, який після вартісних систем очищення може використовуватись в когенераційних установках як моторне паливо для транспорту тощо.

Біогазові технології, на наш погляд, є найефективнішими для утилізації органічних відходів, придатних до бродіння. Максимальних ефектів можна досягти за наявності споживачів якісних органічних добрив і споживачів теплової та електричної енергії.

Анаеробна переробка органічних відходів тваринництва України дозволить зекономити понад 2 млрд. м³ експортованого природного газу.

Виробництво біодизелю з органічних відходів спиртових заводів України дозволить зменшити екологічні проблеми, що виникають на полях фільтрації стічних вод, вивільнити частину угідь для виробництва продовольства.

Подальший розвиток систем біоконверсії слід спрямувати на підвищення ефективності процесу переробки (збільшення частки перетворення речовин) та більш ефективного використання отриманих енергоресурсів.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Закон України "Про відходи" від 05.03.1998, № 187/98-ВР [Електронний ресурс] // Режим доступу: <http://zakon3.rada.gov.ua/laws/show/187/98-%D0%B2%D1%80>.
2. Савицький В. М. Відходи виробництва і споживання та їх вплив на ґрунти і природні води : Навчальний посібник / В. М. Савицький, В. К. Хільчевський, О. В. Чунарьов, М. В. Яцюк; за ред. В. К. Хільчевського. – К.: Видавничо-поліграфічний центр "Київський університет", 2007. – 152 с.
3. Круць Т. М. Енергетичне використання вторинних паливних матеріалів під час випалу портландцементного клінкеру / Т. М. Круць // Вісник НУ "Львівська політехніка". – 2009. – Т. 644. – С. 232 – 236.
4. Hogg D. A Changing Climate for Energy from Waste? Final Report for Friends of the Earth, 2006 [Електронний ресурс] // Режим доступу: http://www.foe.co.uk/resource/reports/changing_climate.pdf.
5. W. Edelmann, K. Schleiss. Ökologischer, energetischer und ökonomischer Vergleich von Vergärung, Kompostierung und Verbrennung fester biogener Abfallstoffe. BUWAL, 2001. [Електронний ресурс] // Режим доступу: <http://www.naturemade.ch/Dokumente/oekobilanzen/%C3%96kobilanz%20Feststoffverg%C3%A4rung.pdf>.
6. Гелетуґа Г. Г. Обзор технологий газификации биомассы / Г. Г. Гелетуґа, Т. А. Железная // Экотехнологии и ресурсосбережение. – 1998. – № 2. – С. 21 – 29.
7. Snow M., López K. Pyrolysis transformation of organic wastes – results of full-scale trial demonstrations. [Електронний ресурс] // Режим доступу: http://simeken.com/pdf/Technical_Paper_on_PRO.pdf.
8. Biogas production [Електронний ресурс] // Режим доступу: <http://www.oecd.org/dataoecd/28/59/36203835.pdf>.
9. Ткаченко С. Й. Систематизация особенностей конструирования водогрейных котлов для сжигания биогаза / С. Й. Ткаченко, Ю. В. Курис, Д. В. Степанов, А. Ю. Майстренко // Промислова електроенергетика та електротехніка. – 2006. – №6. – С. 66 – 68.
10. Zah R., Böni H., Gauch M., Hischer R., Lehmann M., Wäger P. Ökobilanz von energienprodukten: ökologische bewertung von biotreibstoffen. EMPA, 2007. [Електронний ресурс] // Режим доступу: <http://www.news.admin.ch/NSBSubscriber/message/attachments/8514.pdf>.
11. Einspeisung von Biogas ins Erdgasnetz [Електронний ресурс] / P. Hunziker // GWA. – № 4. – 2005. – P. 1 – 8. Режим доступу до журн.: http://www.dvgw.de/uploads/media/ewp2007_01-2007_Biogaseinspeisung.pdf.
12. Newsletter of environmental technology action plan. 2008. № 2. [Електронний ресурс] //Режим доступу: http://ec.europa.eu/environment/etap/inaction/pdfs/feb08_waste_methanisation.pdf.
13. Патент України №49563 МПК⁹ C12F3/10. Спосіб переробки сивушної фракції спиртових виробництв / Ранський А. П., Пелішенко С. В., Солдатенков П. В.; заявник та патентовласник Вінницький національний технічний університет. – № u200911048 ; заявл. 02.11.2009 ; опубл. 26.04.2010, Бюл. № 8.
14. Патент України №49561 МПК⁹ C11B9/02. Спосіб отримання кукурудзяного масла екстракцією / Ранський А. П., Пелішенко С. В., Звездецька Н. С., Солдатенков П. В. ; заявник та патентовласник Вінницький національний технічний університет. – № u200911046 ; заявл. 02.11.2009, опубл. 26.04.2010, Бюл. №8.
15. Гелетуґа Г. Г. Оцінка енергетичного потенціалу біомаси в Україні. Ч. 1. Відходи сільського господарства та деревна біомаса / Г. Г. Гелетуґа, Т. А. Железна, М. М. Жовмір, Ю. Б. Матвеев, О. І. Дроздова //Пром. теплотехніка, 2010. – № 6. – С. 58 – 65.

Степанов Дмитро Вікторович – к. т. н., доцент кафедри теплоенергетики, інститут будівництва теплоенергетики та газопостачання, тел. 598339, e-mail: Stepanovdv@mail.ru.

Ткаченко Станіслав Йосипович – д. т. н., професор, завідувач кафедри теплоенергетики, інститут будівництва теплоенергетики та газопостачання.

Ранський Анатолій Петрович – д. х. н., професор, завідувач кафедри хімії та хімічної технології, інститут екології та екологічної кібернетики.

Вінницький національний технічний університет.