

УДК 620.951:662.767.2: 621.311.1
DOI: 10.37128/2520-6168-2022-3-8**ПЕРСПЕКТИВИ ПІДВИЩЕННЯ РІВНЯ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ АВТОНОМІЇ ПЕРЕРОБНИХ ПІДПРИЄМСТВ АПК УКРАЇНИ ЗА РАХУНОК ВИРОБНИЦТВА БІОГАЗУ**

Купчук Ігор Миколайович, к.т.н., доцент
Гонтарук Ярослав Вікторович, к.е.н., старший викладач
Присяжнюк Юрій Сергійович, аспірант
Вінницький національний аграрний університет

Ihor Kupchuk, Ph.D. in Engineering, Associate Professor
Yaroslav Gontaruk, Ph.D. in Economics, Senior Lecturer
Yurii Prysiashniuk, postgraduate
Vinnytsia National Agrarian University

Вітчизняні процеси виробництва та переробки сільськогосподарської продукції характеризуються високою питомою енергетичною ємністю, що визначає нашу економіку як одну із найбільш енергетично неефективних, а отриману продукцію неконкурентною на ринку сільськогосподарського продовольства країн ЄС, залишаючи нам лише роль експортера сировини для підприємств харчової промисловості Європи.

Крім того, майже всі процеси АПК України характеризуються екологічним забрудненням навколишнього середовища, що, в цілому, суперечить принципам екологізації та декарбонізації економіки, визначених Європейською Комісією в рамках «Європейського зеленого курсу» («The European Green Deal»). Враховуючи, що повноцінна інтеграція України до складу ЄС визначена Конституцією України як основний вектор зовнішньополітичного курсу, а також загальні світові тенденції до зростання цін на викопне паливо й недостатню забезпеченість країни власними первинними енергетичними ресурсами, все більшої актуальності набувають дослідження, спрямовані на раціоналізацію структури енергоспоживання викопного палива відповідно до стандартів ЄС та екологізацію виробництва, в тому числі, за рахунок впровадження технологій альтернативної енергетики на переробних підприємствах АПК України.

В статті здійснено оцінку ресурсного потенціалу вітчизняного сільського господарства та представлені можливі варіанти наявної в достатній кількості агробіомаси, що придатна до анаеробного зброджування із послідувочою метаногенерацією. На основі систематизації та узагальнення інформації, отриманої із відкритих джерел, було запропоновано потенційний напрямок вирішення завдань щодо підвищення рівня автономізації переробних підприємств, що ґрунтуються на створенні технологічної системи макрорівня із чотирма основними елементами: сільськогосподарське підприємство, переробне підприємство, територіальна громада та біогазовий комплекс та розроблено принципову структурну модель такого територіального кластера.

***Ключові слова:** біомаса, метаногенерація, побутові відходи, субстрат, побічна продукція, біологічні добрива.*

Ф. 2. Рис. 6. Табл. 7. Літ 18.

1. Постановка проблеми

На сьогодні агропромисловий комплекс є однією із найбільш важливих та стійких за стабільністю надходжень до бюджету складових національної економіки України, що визначає соціально-економічний розвиток держави і є цілісною виробничо-економічною системою, об'єднуючи в собі низку сільськогосподарських, промислових, науково-виробничих та навчальних галузей, спрямованих на одержання, транспортування, зберігання, переробку, реалізацію сільськогосподарської продукції, а також матеріально-технічне забезпечення й обслуговування виробничих процесів галузей [1].

Практично все споживання енергії в Україні задовольняється за рахунок викопного палива, більша частина якого імпортується, що в умовах агресивних дій російської федерації створює реальну загрозу для енергетичної безпеки держави та, зокрема, для стратегічно-важливої, бюджетоутворюючої галузі – АПК [1, 2].



Таким чином, реагуючи на виклики сьогодення, державними органами влади була розроблена та затверджена «Стратегія національної безпеки» [3], відповідно до п. 4.11 якої визначені пріоритетні напрямки забезпечення енергетичної безпеки України, серед яких: диверсифікація джерел і маршрутів енергопостачання, подолання залежності від Росії у постачанні енергетичних ресурсів і технологій, розвиток відновлювальної та ядерної енергетики з урахуванням пріоритетності завдань екологічної, ядерної та радіаційної безпеки [1-3].

Крім зазначеного вище, численні дослідження [4, 5, 6] показують, що майже всі процеси цього міжгалузевого формування супроводжуються екологічним забрудненням навколишнього середовища, що є ще однією суттєвою перешкодою для забезпечення сталого розвитку АПК та суперечить принципам екологізації та декарбонізації економіки, визначених Європейською Комісією в рамках «Європейського зеленого курсу» («The European Green Deal»). Враховуючи, що повноцінна інтеграція України до складу ЄС визначена Конституцією України як основний вектор зовнішньополітичного курсу, а також загальні світові тенденції до зростання цін на викопне паливо й недостатню забезпеченість країни власними первинними енергетичними ресурсами, все більшої актуальності набувають дослідження, спрямовані на раціоналізацію структури енергоспоживання викопного палива, відповідно до стандартів ЄС, та екологізацію виробництва, в тому числі, за рахунок впровадження технологій альтернативної енергетики на переробних підприємствах АПК України.

2. Аналіз останніх досліджень та публікацій

Ратифікація Угоди про асоціацію України з Європейським Союзом (ЄС) ввела ряд зобов'язань України, серед яких особлива увага зосереджена на розробці концепції переходу до більш енергоефективного й екологічно безпечного виробництва, зокрема, шляхом переходу на європейські екологічні стандарти, що вимагають виконання вимоги Директиви Європарламенту та Ради ЄС 2001/80/ЕС «Про комплексне запобігання і контроль забруднень» [7] і директиви 2010/75/ЄС Європейського Парламенту та Ради про промислові викиди (інтегроване запобігання та контроль забруднення) [1, 2, 8].

Скорочення викидів парникових газів також є одним із базових завдань «Європейського зеленого курсу» («The European Green Deal»), який визначено Європейською Комісією як дорожня карта перетворення Європи на кліматично нейтральний континент до 2050 року. До 2030 року заплановано, що викиди CO₂ в Європі будуть на 40 % нижче рівня 1990 року, а загальноєвропейський цільовий показник відновлювальних джерел енергії (ВДЕ) буде становити не менш як 27% [9]. Передбачається, що відновлювальні ресурси будуть відігравати важливу роль у скороченні викидів CO₂ не лише в ЄС, а й в усьому світі.

Одним із найбільш перспективних напрямків відновлювальної енергетики є отримання енергії із біомаси та відходів, оскільки, на відміну від інших видів ВДЕ, таких як: сонце та вітер, переробка біомаси в паливні ресурси може бути реалізована незалежно від часу доби та майже в будь-якій точці планети. Класичним способом конверсії біомаси в нетрадиційні паливні ресурси є виробництво та використання біогазу.

Оскільки, як вже зазначалося, повноцінна інтеграція до складу ЄС є пріоритетним напрямком, визначеним вектором політичного курсу України, та враховуючи практичний досвід інших держав-членів ЄС, які забезпечують виконання спільних кліматичних та енергетичних цілей ЄС через національні енергетичні стратегії, розпорядженням КМУ була схвалена «Енергетична стратегія України на період до 2035 року «Безпека, енергоефективність, конкурентоспроможність» [10].

В рамках зазначеного нормативно-правового документу передбачається стаке розширення використання всіх видів відновлювальної енергетики з прогнозованим зростанням її частки в 2025 році до рівня не менш, як 12 % від загального первинного постачання енергії та не менше 25 % – до 2035 року [1, 2, 10]. Проте, як видно з діаграм, побудованих на основі офіційних даних Міністерства енергетики України [11], заплановане зростання вдалося перевиконати лише в 2018 році (на 0,1 %), а станом на кінець жовтня 2021 року відхилення від запланованого рівня становило 1,5 % до відповідного періоду 2020 року.

Узгодження національної структури генерації електроенергії є ключовим фактором для інтеграції національної енергетичної мережі в мережу ЄС, проте, як видно із рис. 1 та рис. 2, сучасна структура енергетичного сектору базується на атомній енергетиці та використанні традиційних паливних ресурсів, що унеможливує таке злиття.

Низькі темпи нарощування потужності енергетичної генерації на основі ВДЕ, відхилення від



термінів, відставання від запланованого рівня свідчить про необхідність активізувати діяльність щодо розвитку альтернативної енергетики та, власне, пошуку шляхів для виправлення нинішньої ситуації. В іншому ж випадку, можна констатувати про реальну загрозу невиконання плану реалізації енергетичної стратегії України, що навіть теоретично не дозволяє інтеграції України до складу ЄС.

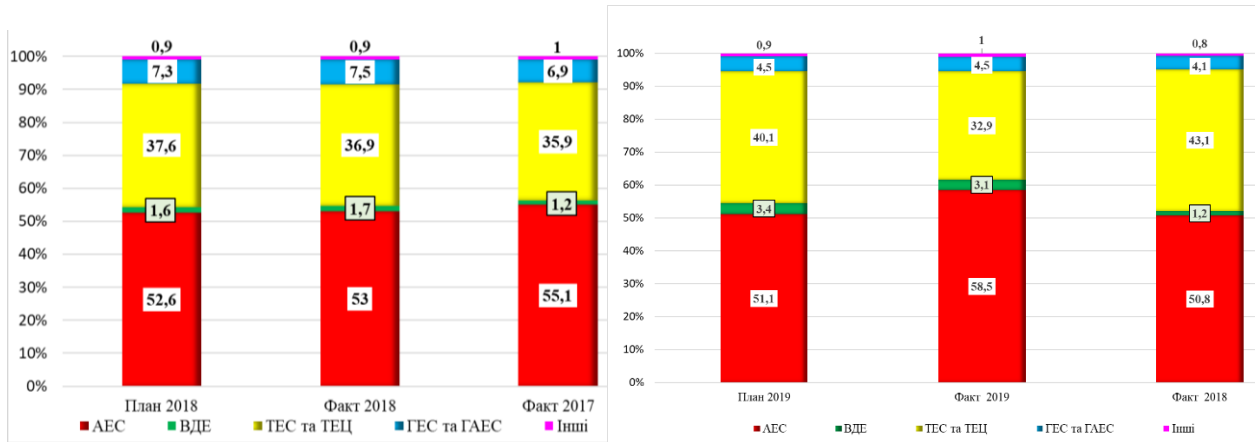


Рис. 1. Структура виробництва електроенергії в Україні 2017-2019 рр. [11], %

Крім проблем в енергетичному секторі, ще одним викликом для євроінтеграційного процесу України є фактична відсутність стратегічного курсу щодо управління відходами на загальнодержавному рівні. На сьогодні в Україні спостерігається тенденція зростання утворення відходів. За період 2015-2020 років цей показник зріс більш, як на 30 % та становив понад 462 млн. т. у 2020 році (табл. 1) [12].

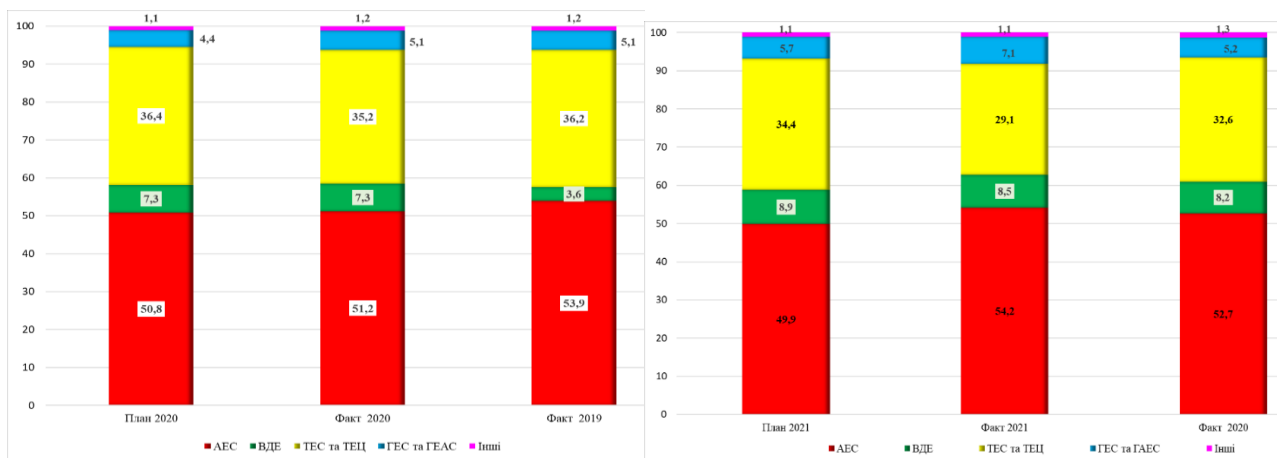


Рис. 2. Структура виробництва електроенергії в Україні 2019-2020 рр. [11], %

Понад 11 млн т у 2020 році становили побутові відходи домогосподарств та понад 435 млн тонн відходи від економічної діяльності [12]. Утилізовано з даного об'єму було лише 25 відсотків.

Тому серед найбільш актуальних екологічних проблем в Україні важливе місце займає переробка та утилізація відходів, обсяг яких постійно збільшується. При цьому сучасний рівень управління відходами в Україні можна вважати незадовільним через наявність цілої низки принципових недоліків:

- орієнтованість на захоронення відходів, їх розміщення на сміттєзвалищах та/або стихійних сміттєзвалищах, більшість з яких не відповідають вимогам екологічної безпеки;
- вкрай низький технологічний рівень;
- практично відсутнє впровадження інноваційних технологій.

Таким чином, сучасний екологічний стан навколишнього середовища та невідповідність структури енергогенерації при постійно зростаючому дефіциті енергоресурсів обґрунтовує потребу в проведенні наукових досліджень, спрямованих на розробку та впровадження високоефективних систем автономного енергозабезпечення переробних підприємств, що базуються на використанні відновлювальних джерел енергії, в тому числі й біогазу.



Таблиця 1

Основні показники утворення та поводження з відходами

Показники	2010	2015	2018	2019	2020
Утворено, тис.т	425914,2	312267,6	352333,9	441516,5	462373,5
у тому числі від економічної діяльності	419191,8	306214,3	346790,4	435619,8	456423,8
Утворено відходів на одну особу, кг	9285	7288	8335	10505	11074
Зібрано, отримано побутових та подібних відходів, тис.т	9765,5	11491,8	11857,2	11792,7	12634,9
Імпортовано, тис.т	4,1	3,4	89,4	22,0	2,7
Усього спалено, тис.т	1058,6	1134,7	1028,6	1059,0	1008,0
у тому числі з метою отримання енергії	840,3	1086,3	951,2	960,1	902,2
Утилізовано, тис.т	145710,7	92463,7	103658,1	108024,1	100524,6
Підготовлено до утилізації, тис.т	...	1940,5	3193,6	2810,4	2641,3
Видалено у спеціально відведені місця чи об'єкти, тис.т	313410,6	152295,0	169523,8	238997,2	275985,3
у тому числі на спеціально обладнані звалища	207445,1	31142,8	26305,6	90883,0	25815,3
Видалено іншими методами видалення, тис.т	24318,0	55248,1	57674,1	57503,1	46768,1
Знешкоджено, тис.т	...	2616,0	212,2	379,9	464,8
Розміщено на стихійних звалищах, тис.т	87,4	14,4	2,5	3,4	...
Експортовано, тис.т	281,3	675,4	190,8	260,6	257,8
Вилучено внаслідок витікання, випаровування, пожеж, крадіжок, тис.т	1367,6	6,5	6,7	12,0	...
Накопичено відходів протягом експлуатації у місцях видалення відходів на кінець року, млн.т	13267,5	12505,9	12972,4	15398,6	15635,3
у розрахунку на 1 км ² території країни, т	21984,2	21692,8	22498,9	26706,9	27115,9
у розрахунку на одну особу, кг	289236	291888	306896	366392	374457

Джерело: сформовано авторами на основі [12]

Стає очевидним, що такі дослідження є стратегічно-важливими та актуальними не лише для формування енергетичної незалежності АПК і забезпечення продовольчої безпеки держави, але й в контексті сталого розвитку національної економіки з подальшою інтеграцією України до складу ЄС.

3. Мета та завдання дослідження

Мета досліджень полягає у формуванні наукового підґрунтя щодо вирішення проблем утилізації відходів та підвищення рівня енергетичної автономії переробної галузі АПК України за рахунок виробництва біогазу та подальшого його перетворення в інші види енергії, придатної для використання у виробничих процесах підприємств.

Для досягнення поставленої мети потребують вирішення наступні завдання:

- виконати оцінку ресурсного потенціалу та вибрати оптимальні варіанти формування сировинної бази для виробництва та використання біогазу переробними підприємствами АПК України;
- оцінити подальші перспективи та виокремити потенційні шляхи впровадження технологій метаногенерації в рамках переробної галузі АПК, а також розробити принципову структурну модель системи автономного енергозабезпечення промислових підприємств галузі за рахунок конверсії біогазу.

4. Виклад основного матеріалу

Використання біомаси відходів та побічної продукції для отримання біогазу та забезпечення енергетичних потреб переробних підприємств є одним із пріоритетних шляхів підвищення рентабельності виробництва, підвищення конкурентоспроможності продукції та покращення рівня енергетичної безпеки відповідної галузі в цілому. Крім того, така практика дозволяє часткове вирішення проблеми екологічного забруднення навколишнього середовища, що є актуальним сьогодні як наслідок недосконалості загальнодержавної політики в сфері поводження з відходами.



В загальній структурі [12] станом на 2020 рік майже 14,0 % складають відходи, утворені сільськогосподарськими підприємствами, переробними підприємствами АПК та домогосподарствами (табл. 2).

Таблиця 2

Утворення відходів внаслідок виробничої діяльності основних галузей АПК та в домогосподарствах, тис. т

Категорія	2010	2015	2018	2019	2020
Сільське, лісове та рибне господарство	8568,2	8736,8	5968,1	6750,5	5315,4
Переробна промисловість	50011,7	31000,5	31523,2	30751,8	52311,0
у тому числі					
виробництво харчових продуктів	7245,4	4222,2	5818,4	5581,4	4158,7
виробництво напоїв	1522,2	939,2	447,4	342,0	325,8
Від домогосподарств	6722,4	6053,3	5543,5	5896,7	5949,7
Усього по Україні	425914,2	312267,6	352333,9	441516,5	462373,5

Джерело: сформовано авторами на основі [12]

При цьому основна частина цієї біомаси може бути використана для виробництва біогазу. Загальний об'єм утилізації відходів становив у 2020 році 100,5 млн. тонн [12]. В основному, цей об'єм припадав на рециркуляцію або ж утилізацію неорганічних матеріалів (табл. 3). На жаль, практично не застосовувалося компостування органічних відходів насамперед з побутових полігонів. Механіко-біологічному переробленню відходів на установках в 2020 році було піддано понад 15 тис. тонн, що, на жаль, майже в 4 рази менше ніж в 2015 році [12].

Таблиця 3

Утилізовано відходів від економічної діяльності та в домогосподарствах, тис. т

	2010	2015	2018	2019	2020
Усього утилізовано	145710,7	92463,7	103658,1	108024,1	100524,6
Компостування органічних відходів	147,4	651,1	671,6	619,8	549,8
Переробка паперу та картону	...	24,0	0,3	0,3	0,3
Рекуперация компонентів, що використовуються для зменшення забруднення	6125,2	13718,7	26649,4	27348,7	36553,7
Обробка ґрунту, що справляє позитивний вплив на землеробство чи поліпшує екологічну обстановку	9244,5	10763,3	12320,3	13263,0	13501,3
Використання відходів, отриманих від будь-якої з вищеперелічених операцій	6438,5	1208,1	1684,1	1731,0	984,1
Усього підготовлено до утилізації	...	1940,5	3193,6	2810,4	2641,3
Обмін відходами для здійснення подальшої утилізації чи видалення	...	34,9	14,2	17,1	2578,4
Сортування відходів	...	163,1	28,2	28,3	32,3
Механіко-біологічне перероблення відходів на установках МБП	...	57,6	65,6	38,1	15,3

Джерело: сформовано авторами на основі [12]

Основним способом отримання біогазу є анаеробне зброджування [13], суть якого полягає в забезпеченні сприятливих умов для біологічних процесів, під час яких мікроорганізми перетравлюють органічний субстрат за відсутності кисню впродовж чотирьох стадій [14]: гідроліз, ацидогенез, ацетогенез і метаногенез (рис. 3). За хімічним складом біогаз близький до неочищеного природного газу та являє собою суміш метану (CH_4) і діоксиду вуглецю (CO_2), а також незначної частки інших домішок, таких як: водень (H_2), сірководень (H_2S), азот (N_2) тощо [14]. Таким чином, керований анаеробний процес дозволяє отримати високоенергетичну газову суміш, що містить 55–75 % метану та 25–45 % CO_2 [15], причому співвідношення цих основних компонентів є визначальним у ефективності його подальшого використання та формує енергетичну цінність отриманого біогазу.

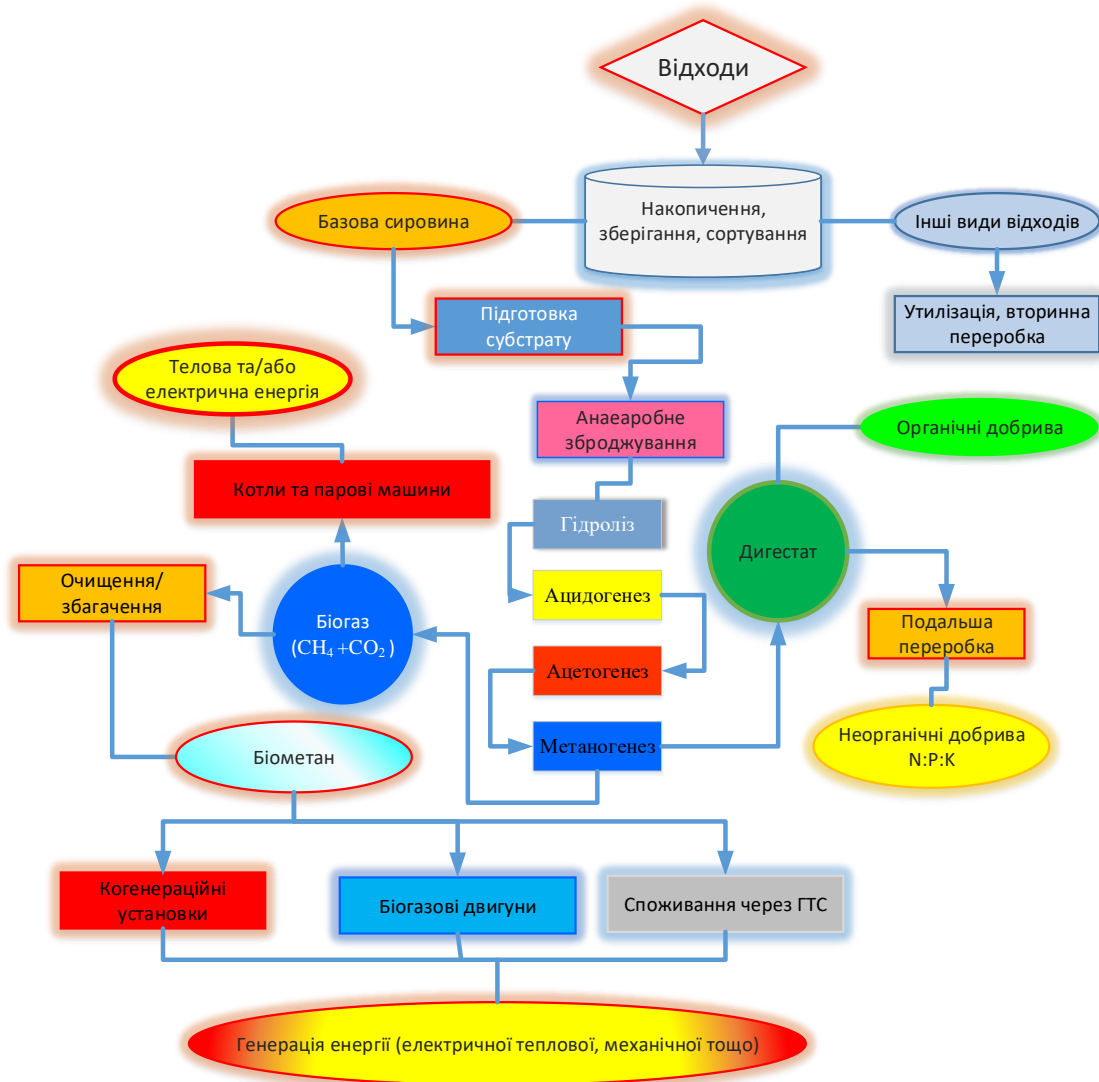


Рис. 3. Принципова блок-схема екологоефективного забезпечення енергетичних потреб підприємства АПК за рахунок переробки відходів анаеробним зброджуванням

Перш за все, вміст метану в отриманому біогазі залежить від виду і властивостей біомаси, якості попередньої підготовки субстрату, а також відрунтованості режимів анаеробного зброджування та вибором оптимальних параметрів технологічного процесу [13, 14]. Використання біогазу із низьким вмістом CH_4 та, як наслідок, із значною кількістю домішок, окрім невисокого коефіцієнту тепловіддачі, супроводжується агресивним корозійним впливом на елементи енергогенеруючого обладнання, що може призвести до його виходу із ладу, а також може збільшити викиди шкідливих речовин в атмосферу в процесі горіння.

Тому одним із основних напрямів підвищення ефективності процесу такого енергозабезпечення є очищення біогазу від домішок з отриманням повноцінного біометану, який у подальшому може бути використаний у вигляді палива для когенераційних установок та газових ДВЗ або ж для традиційного споживання населенням через національну газотранспортну систему (ГТС) (рис. 3). Крім того, дигестат, що залишається після процесу анаеробного зброджування, також може застосовуватись як високоефективне органічне добриво для ґрунту або ж після подальшої спеціальної переробки як джерело неорганічних добрив (N:P:K).

У світовій практиці відомі приклади використання різноманітних видів сировини [15] для приготування субстратів, спільними показниками якої є високий вміст цукру, крохмалю, білків або жирів та придатність для деградації органічних речовин до біометану в анаеробних умовах. Обмеженість площ сільськогосподарських угідь, коливання цін на енергетичні культури, потреба в екологізації аграрного сектору, а також гостра необхідність вирішення проблем утилізації відходів робить одним із найбільш перспективних варіантів сировинної бази для відновлення енергії із біомаси саме використання побічної



продукції та відходів сільського господарства (табл. 4), харчової та переробної промисловості (табл. 5), а також твердих побутових відходів (ТПВ) (табл. 6), енергетичний потенціал яких на сьогодні використовується не в повному обсязі.

Таблиця 4

Характеристика деяких видів побічної продукції та відходів сільського господарства

Вид біомаси	Органічна складова	C:N	Частка сухої речовини в загальному обсязі (СР), %	Вміст легких компонентів в сухій речовині (ВЛК), %	Частка легких компонентів в загальному обсязі (ЛК), %	Теоретичний вихід метану, м ³ (СН ₄)/кг (ЛК)	Потенціал метаногенерації, м ³ (СН ₄)/м ³
1	2	3	4	5	6	7	8
Відходи та побічні продукти тваринництва							
Кормові рештки:							
- свині	вуглеводи, білки, ліпіди	7	5	80	4,0	0,3	12,0
- ВРХ	вуглеводи, білки, ліпіди	13	8	80	6,4	0,2	12,8
Гній:							
- Свині	вуглеводи, білки, ліпіди	7	20	80	16,0	0,3	48,0
- ВРХ	вуглеводи, білки, ліпіди	13	20	80	16,0	0,2	32,0
- птиця (послід)	вуглеводи, білки, ліпіди	7	5	80	4,0	0,3	12,6
- птиця (гній)	вуглеводи, білки, ліпіди	7	20	80	16,0	0,3	48,0
Відходи та побічні продукти рослинництва							
Солома	вуглеводи, ліпіди	90	70-90	80-90	залежить від сировини	0,15-0,35	варіюється
Садові відходи (гілки, стебла, листя, суцвіття)	вуглеводи, ліпіди	125	60-70	90		0,2-0,5	
Трава	вуглеводи, ліпіди	18	20-25	90		0,3-0,55	
Силос (трав'яний, кукурудзяний, з бурякової гички)	вуглеводи	17	15-40	90	13,5-36	до 0,45	

Джерело: сформовано авторами на основі [15]

На думку науковців [4, 5], утилізація біогазу звалищ дозволяє не тільки поліпшити екологічну ситуацію, а й виробляти електроенергію і тепло, частково замінюючи корисні копалини. В даний час основним способом знешкодження ТПВ у всьому світі є їх поховання на полігонах. Морфологічний склад органічної частини на типовому полігоні ТПВ (площею 10,0...15,0 га) наведено в таблиці 6 [5]. При похованні органічної речовини (якої в сміттєвій масі в середньому від 50 до 70%) у товщі ТПВ при анаеробних умовах (без доступу кисню) відбувається її біоконверсія за участю мікроорганізмів, під час якого утворюються нові хімічні сполуки: двоокис вуглецю (СО₂), метан (СН₄), аміак (NH₃) та сірководень (H₂S). Це газоподібні речовини, які, змішуючись, утворюють біогаз.



Таблиця 5

Характеристика деяких видів побічної продукції та відходів харчової та переробної промисловості

Вид біомаси	Органічна складова	C:N	Частка сухої речовини в загальному обсязі (СР), %	Вміст легких компонентів в сухій речовині (ВЛК), %	Частка легких компонентів в загальному обсязі (ЛК), %	Теоретичний вихід метану, м ³ (СН ₄)/кг (ЛК)	Потенціал метаногенерації, м ³ (СН ₄)/м ³
1	2	3	4	5	6	7	8
М'ясопереробна галузь, вміст системи травлення тварин:							
- ВРХ	вуглеводи, білки, ліпіди	4	12	80	9,6	0,4	38,4
- свині	вуглеводи, білки, ліпіди	4	12	80	9,6	0,46	44,2
Переробка фруктів/ягід	вуглеводи, ліпіди	35	15-20	75	Залежить від сировини	0,25-0,5	варіюється
Молокопереробна промисловість:	частка в СР, %						
- сироватка	60-65 лактози; 17-22 білка	-	5	90	4,5	0,33	15,0
- концентрована сироватка	75-80 лактози 20-25 білка	-	10	90	9,0	0,54	31,5
Спиртова промисловість:							
- ферментаційні відходи	вуглеводи	7	1-5	90	0,9-4,5	0,35-0,78	варіюється
- барда	вуглеводи	8,6	18,4	84,9	9,1	0,45	41,5
Цукрова промисловість:							
- меляса	вуглеводи	10,6	92,8	88	8,7	0,63	71,3
- буряковий жом	вуглеводи	30,86	15,8	30,1	6,4	0,17	10,88

Дослідження Грищенка А.В. [5] свідчать, що інтенсивність утворення біогазу на полігоні ТПВ залежить від складу відходів, їх маси, порядку складування, щільності відходів на квадратний кілометр, доступу кисню і води до відходів полігону, температури повітря та ґрунту. З огляду на це необхідно, перш за все, оцінити склад ТПВ на полігоні. Як правило, основу ТПВ України становить органічна речовина (папір, харчові відходи, рослинні рештки та ін.), яка на 70... 80 % здатна до біологічного розпаду в аеробних та анаеробних умовах [5].

У світовій практиці відомі наступні способи утилізації БГЗ [14, 16]:

- факельне спалювання, що забезпечує утилізацію парникових газів, усунення неприємних запахів і зниження пожежонебезпеки на території полігону ТПВ, при цьому енергетичний потенціал БГЗ не використовується в господарських цілях;



- пряме спалювання БГЗ для виробництва теплової енергії;
- використання БГЗ як палива для газопоршневих двигунів та газових турбін з метою отримання електричної і теплової енергії;
- доведення вмісту метану в БГЗ (збагачення) до 94-97% з подальшим його використанням у газових мережах загального призначення та як моторного палива; виробництво товарної вуглекислоти.

Таблиця 6

Морфологічний склад органічної частини ТПВ на полігоні [5]

Морфологічний склад органічної частини ТПВ	Полігон		Вміст основних хімічних елементів в сухій речовині органічних компонентів ТПВ, %					
	Вміст по масі ТПВ, %	Вміст в органічній частині ТПВ, %	С	Н	О	N	S	зола
Папір	21,0	44,5	45,40	6,10	42,10	0,30	0,12	6,00
Харчові відходи	12,0	25,4	41,70	5,80	27,60	2,80	0,25	21,90
Дерево	2,1	4,5	48,30	6,00	42,40	0,30	0,11	2,90
Текстиль	2,6	5,5	46,20	6,40	41,80	2,20	0,20	3,20
Шкіра, гума	4,6	9,5	59,80	8,30	19,00	1,00	0,30	11,60
Пластмаса	3,4	7,2	67,90	8,57	10,30	1,13	0,05	12,02
Кістки	1,6	3,4	59,60	9,50	24,70	1,02	0,19	4,99
Суміш компонентів	47,2	0	48,10	6,53	33,3	1,18	0,15	10,74

Таким чином, процес збору та утилізації біогазу полігону ТПВ складається з декількох етапів.

1. Звалищний газ з кожної газовідвідної свердловини шлейфовим трубопроводом, приєднаним до оголовка свердловини, за рахунок декомпресії, яка створюється вакуумними насосами, втягується на колектор (гребінку). Загальна кількість колекторів становить 10 одиниць. Кожен колектор об'єднує декілька свердловин, на колекторі кожен шлейфовий трубопровід обладнаний засувкою, датчиком контролю тиску і штуцером для відбору газових проб [16].

2. Весь біогаз, зібраний з колекторів, передається на майданчик вузла збору та утилізації звалищного газу за допомогою колекторних (магістральних) трубопроводів.

3. Перед вакуумним насосом на магістральному трубопроводі встановлюється газосепаратор, де відбувається його повна осушка (відділення краплинної і пароподібної рідини).

4. Очищений біогаз через систему моніторингу (обліку) подається на обладнання утилізації. В установці для виробництва вуглекислоти відбувається поділ біогазу на біометан і товарну вуглекислоту. Основні обсяги біометану будуть використані на когенераційній установці, яка дає можливість виробляти 1 МВт електроенергії і близько 1,2 МВт теплової енергії [6].

Система збору та первинної підготовки звалищного газу до утилізації складається з свердловини, шлейфових трубопроводів, колекторів шлейфів, магістрального трубопровода; сепаратора.

Одним з перших та найбільш досконалих виробництв у даній галузі є будівництво та експлуатація комплексу для виробництва електричної енергії шляхом збору та утилізації звалищного газу з полігону твердих побутових відходів у місті Хмельницькому [5, 16].

Вертикальні свердловини даного комплексу мають діаметр від 0,5 м і більше. Свердловини облаштовані згідно вимог ДБН продукційною перфорованою трубою діаметром від 110 мм і більше. Діаметр отворів перфорації від 10...15 мм з вибраним кроком по поверхні труби, починаючи з відстані 0,5...1 м від глибини замка оголовку продукційної труби. Глибина свердловин становить щонайменше 7 м. Нижній зріз труби не доходить до рівня фільтрату. Затрубний простір заповнений гравієм або галькою фракції 30...60 мм. Верхня частина свердловини (приблизно 1...1,5 м від верхнього краю) ущільнена бетоном або глиною з метою запобігання притоку атмосферного повітря до свердловини та витоку біогазу в атмосферу. Радіус дії свердловини для збирання біогазу становить у середньому 30-35 м. Кількість свердловин – 4 свердловини на 1 гектар полігону ТПВ [5, 13].

Залежно від місцевих умов, морфологічного складу відходів, ущільнення полігону, терміну його експлуатації вихід БГЗ становить від 6 м³/год до 20 м³/год на одну свердловину [4]. Спорудження газодренажної системи може здійснюватись, як на всій території полігону після закінчення його експлуатації, так і на окремих його ділянках в міру заповнення. Конфігурація газозбірних свердловин залежить від особливостей полігону, в тому числі перепадів глибин та висот тіла полігону, що будуть

визначені на стадії проектування. Точна кількість та густина розміщення свердловин майбутньої системи для збору БГЗ визначається за результатами пробного буріння та тестової відкачки. В процесі експлуатації полігон просідає на 5-20% або навіть 30-35% його глибини, тому свердловини з'єднують з колектором за допомогою гнучкого з'єднання. Найбільш широко для збирання біогазу на полігонах ТПВ використовують трубопровід з поліетилену низького тиску (для наземного та підземного використання) та полівінілхлориду (для підземного використання) [5].

Використовуючи дані щодо морфологічного складу органічної частини на типовому полігоні (табл. 6) ТПВ (площею 10,0...15,0 га) та володіючи значеннями процентного вмісту вуглецю, водню, кисню, азоту, сірки в певному об'ємі органічної речовини ТПВ, а також враховуючи їх атомну вагу, було визначено кількість грам-молей цих елементів у 1 кг ТПВ (табл. 7) [5, 16].

Таблиця 7

Маса вихідних речовин при анаеробному розпаді органічних речовин 1 кг ТПВ [5]

хімічний знак	маса, г	хімічна формула	Вихідні сполуки			
			маса, г	масова частка, %	об'єм, м ³	об'ємна частка, %
C	102,00	CO ₂	162,20	66,70	0,0923	42,36
H	13,78	CH ₄	77,20	31,80	0,1210	55,53
O	70,70	NH ₃	3,06	1,36	0,0044	2,02
N	2,50	H ₂ S	0,34	0,14	0,0002	0,09
S	0,32					
H ₂ O	53,50					
Загальне	242,80		242,80	100	0,218	100

Знаючи молекулярні маси утворених сполук CO₂ (44), CH₄ (16), NH₃ (17), H₂S (34) та води H₂O (18), можна визначати маси речовин, що утворюються при розпаді 1 кг ТПВ [4, с. 41]. Теоретичний об'єм утворення біогазу (G) на полігоні за рік [5]:

$$G = M \times V, \quad (1)$$

де M – річна кількість ТПВ, що надходять на полігон; V – об'єм біогазу, що утворюється з 1 кг ТПВ (V = 0,218 м³/кг) [5].

$$M = H \times Ч, \quad (2)$$

де H – середня норма накопичення ТПВ на 1 мешканця за один рік (H = 300 кг); Ч – чисельність жителів населеного пункту, району, регіону тощо [16].

Оцінити енергетичний потенціал використання ТПВ для метаногенерації можна на прикладі міста (області, регіону) із 500 тис. мешканців. Використавши формулу (1) і (2), об'єм утворення біогазу на полігоні ТПВ за рік може становити [6]:

$$G = 300 \times 500000 \times 0,218 = 32\,700\,000 \text{ м}^3.$$

Таким чином, можна констатувати, що виробництво біогазу можна здійснювати не лише за рахунок використання біомаси із відходів та побічної продукції галузей АПК (барди, меляси, гною, соломи тощо), а й шляхом використання потенціалу ТПВ, шляхом їх переробки на спеціальних полігонах.

На думку вітчизняних науковців [13, 16], які займалися проблемами енергонезалежності переробної галузі, зокрема, підприємств спиртової та цукрової промисловості, одним із перспективних шляхів є їх переорієнтація на автономне забезпечення енергетичних потреб шляхом створення своєрідного виробничого кластеру, який би включав в себе цукровий та спиртовий заводи, завод по виробництву біогазу, теплоелектростанцію та систему газотранспортних комунікацій, інтегровану в національну ГТС (рис. 4).

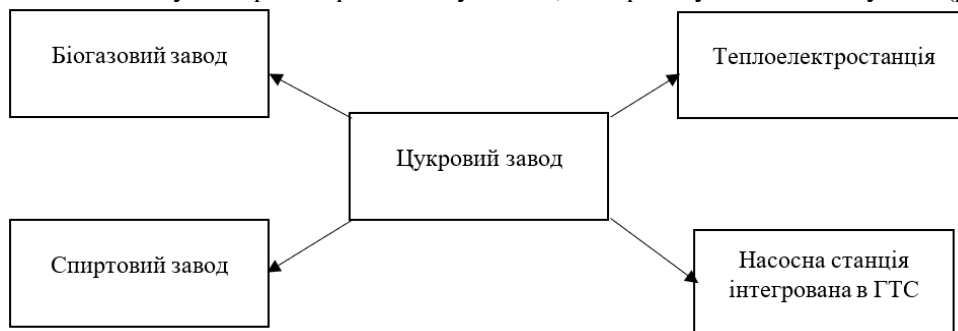


Рис. 4. Структурна схема створення виробничого кластеру на базі цукрового та спиртового заводів [13]



Як зазначають автори [6, 13], організація такого кластерного формування дозволяє:

- здійснювати переробку відходів цукрового заводу (меяса та жом) та спиртового (барда) на біогаз та окремих відходів продукції рослинництва (солома, лушпиння та ін.);
- зменшити собівартість виробництва цукру, адже за рахунок використання власного біогазу можна відмовитися від дороговартісного природного газу;
- зменшити собівартість виробництва спирту за рахунок використання надлишків теплової енергії від власної теплоелектростанції (ТЕЦ);
- мінімізувати забруднення стічними водами від спиртового та цукрового виробництва навколишнього середовища [13, 15, 16];
- забезпечити сільськогосподарські підприємства високоякісним органічним добривом – дигестатом (використання якого дасть можливість підвищити врожайність сільськогосподарських культур, в тому числі енергетичної групи (цукрового буряка, соняшника, кукурудзи тощо) [13, 15].

Доповнюючи ідеї та рекомендації, сформовані авторами [6, 16], варто зауважити, що вирішення завдань щодо підвищення рівня автономізації переробних підприємств, в першу чергу, має ґрунтуватися на застосуванні наукових положень і підходів теорії систем. Таким чином, організацію таких кластерів потрібно розглядати в контексті технологічної системи макрорівня із чотирьох основних елементів: сільськогосподарського підприємства, переробного підприємства, територіальної громади (муніципалітетів) та, власне, біогазового комплексу. При цьому подальше вдосконалення такого кластеру повинне базуватися на застосуванні основних принципів розвитку технічних систем [17]:

- закону переходу із макрорівня на мікрорівень – розглядаючи кожен із чотирьох елементів як окрему технологічну систему нижчого рівня із власними елементами та зв'язками між ними;
- закону збільшення ступеня вепольності системи – який полягає у розділенні на всіх рівнях структурних елементів підсистем на окремі, менші елементи (веполі) та утворення між ними розгалуженої мережі повних та взаємоузгоджених зв'язків, що дозволяє забезпечити високу маневреність, гнучкість і чутливість технологічної макросистеми (виробничого кластера).

Отже, відповідний кластер має бути сформований на основі розвитку співпраці територіальних громад з приватним бізнесом (на прикладі цукрового заводу) та матиме наступний механізм функціонування (рис. 5):

1. орган місцевого самоврядування (міська, селищна рада) проводить роз'яснювальну роботу з населенням з метою формування екологічної свідомості членів територіальної громади (роздільне сортування ТПВ тощо);
2. на базі комунального підприємства, що обслуговує полігони ТПВ, створюється сортувальна фабрика, на потужностях якої відбувається сортування відходів та часткове їх спалювання у відповідності до Базельської конвенції про контроль за транскордонним перевезенням небезпечних відходів та їх видаленням від 22.03.1989р. (відходи, які не підлягають вторинній переробці) [18];
3. органічні відходи з сортувальної фабрики, аграрних формувань територіальної громади та цукрового заводу передаються на відповідний біогазовий комплекс з метою подальшої переробки на біогаз та дигестат;
4. дигестат передається для подальшої очистки та реалізації сільськогосподарським підприємством як добрива (пропонується дигестат реалізувати сільськогосподарським підприємствам у рахунок вартості поставлених відходів);
5. аграрні формування реалізують цукрові буряки, вирощені на своїх площах, на цукровий завод;
6. біогазовий комплекс забезпечує цукровий завод паливно-енергетичними ресурсами. Надлишки біогазу за рахунок спалення в когенераційній установці реалізуються в енергосистему. Теплова енергія може використовуватися для забезпечення потреб цукрового заводу та територіальної громади в гарячому тепло-водопостачанні (обігрів адміністративних приміщень заводу, житлового фонду територіальної громади за умови наявності централізованих ліній теплопостачання).

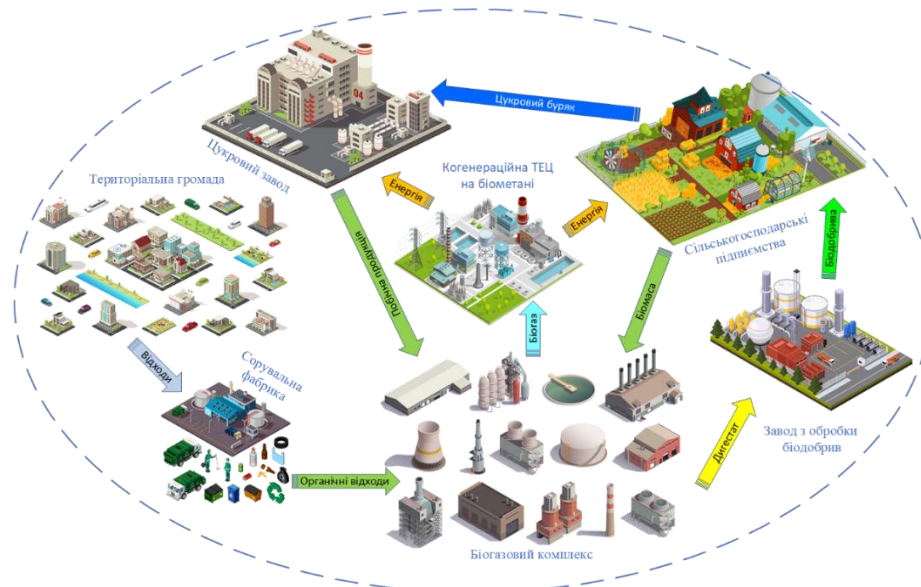


Рис. 5. Модель територіального кластера орієнтованого на виробництво біогазу з відходів підприємств та домогосподарств (на прикладі цукрового заводу)

Треба зауважити, що основні принципи системи управління сортувальною фабрикою мають бути наступні (рис. 6):

1. Запобігання виникненню відходів, створення таких умов виробникам, щоб їхня продукція після використання утворювала мінімальну кількість відходів, що можуть потрапити на звалище.

2. Повторне використання, тобто використання продуктів чи їх компонентів, що не стали відходами, повторно для тієї ж мети (наприклад, автозапчастини, електроприлади, меблі, одяг та інше). Подібні речі збирають у спеціальних центрах, де вживані товари оновлюють й продають за принципом секонд-хенду.

3. Рециклінг або переробка матеріалу відходів у інший продукт. За таким принципом переробляють скло, чорні та кольорові метали, папір, текстиль, пластик, дерево. Сортування сміття на фракції (скло, папір, метал, пластик) потрібне саме для полегшення рециклінгу.

4. Відходи в енергію. Переробка сміття в теплову енергію відбувається завдяки сміттєспалювальним установкам. На сьогодні від 23% до 58% твердих побутових відходів у країнах Євросоюзу підлягає спаленню. Також широкого поширення набувають біогазові установки, які працюють на місці звалищ або місцях скупчення сільськогосподарських відходів.

Захоронення. На полігони мають потрапляти тільки ті відходи, які не підлягають утилізації іншим способом. Сучасні полігони в Євросоюзі дуже відрізняються від звичних нам, оскільки передбачають складну інженерну систему, яка перешкоджає проникненню шкідливих речовин у ґрунт або підземні води.



Рис. 6. Принципи системи управління сміттєсортувальним комплексом

Створення відповідних кластерів у межах територіальних громад дасть можливість дати поштовх розвитку промислового виробництва та зайнятості населення, покращити екологічний стан навколишнього середовища та зменшити собівартість виробництва цукру.



5. Висновки

В результаті проведених досліджень було встановлено, що цілком реальним способом підвищення рівня енергетичної автономії переробної галузі АПК України є використання у якості енергетичного ресурсу – біогазу, виробленого із побічної продукції сільськогосподарського виробництва, власне самого переробного підприємства та органічних відходів територіальних громад, в межах яких розташовані вказані підприємства. При цьому як показує аналіз ресурсного потенціалу, сучасні технології метаногенерації дозволяють використовувати у якості сировинної бази широкий номенклатурний ряд біомаси, яка може бути одержана, як від виробничої діяльності (неосновна (нецільова) продукція), так і взагалі із відходів домогосподарств, що є одним із методів вирішення проблем їх утилізації. Таким чином, можна констатувати, що перспективним шляхом є створення кластерів, орієнтованих на виробництво біогазу з відходів в межах територіальних громад, що дозволить отримати низку потенційних ефектів:

- підвищити енергетичну незалежність галузі;
- знизити витрати цукрових заводів на енергоносії;
- поліпшити екологічний стан навколишнього середовища;
- знизити обсяг викидів парникових газів;
- забезпечити сільськогосподарських виробників органічними добривами;
- створити додаткові робочі місця;
- вирішити проблеми з утилізацією побутових відходів.

Основним стримуючим чинником для розвитку біогазового виробництва в рамках кластерного об'єднання є насамперед відсутність державного стимулювання. Шляхом державного стимулювання розвитку альтернативної енергетики та збільшення податкового навантаження за викиди CO₂ можливо досягти вирішення проблеми енергетичної незалежності АПК України у короткостроковій перспективі.

Список використаних джерел

1. Купчук І. М., Яропуд В. М., Телекало Н. В., Граняк В. Ф. Перспективи та передумови впровадження автономних систем електрозабезпечення агропромислових підприємств. *Техніка, енергетика, транспорт АПК*. 2020. № 3 (110). С. 51–63.
2. Калетнік Г. М. Перспективи підвищення енергетичної автономії підприємств АПК в рамках виконання енергетичної стратегії України. *Вісник аграрної науки Причорномор'я*. 2019. Вип. 4, 104. С. 90–98. DOI: 10.31521/2313-092X/2019-4(104)-10.
3. Указ президента України «Про Стратегію національної безпеки України» від 26.05.2015 № 287/2015. URL: <https://www.president.gov.ua/documents/2872015-19070>
4. Гончарук І. В., Вовк В. Ю. Понятійний апарат категорії сільськогосподарські відходи, їх класифікація та перспективи подальшого використання для виробництва біоенергії. *Економіка, фінанси, менеджмент: актуальні питання науки і практики*. 2020. № 3 (53). С. 23–38. DOI: 10.37128/2411-4413-2020-3-2.
5. Гриценко А. В., Недава О. А. Орієнтовна оцінка об'єму біогазу, що виділяється з полігону твердих побутових відходів. *Проблеми охорони навколишнього природного середовища та екологічної безпеки*. 2016. Вип. 38. С. 38–42.
6. Мазур К. В., Ясінська Б. О. Виробництво біогазу як напрям поліпшення екологічної ситуації Вінницької області. *Східна Європа: економіка, бізнес та управління*. 2022. № 1 (34). С. 170–174.
7. Директива № 2008/1/ЄС Європейського Парламенту і Ради про комплексне запобігання і контроль забруднень. URL: https://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/994_b02 (дата звернення – 28.09.2019).
8. Директива Європейського Парламенту та Ради 2010/75/ЄС від 24 листопада 2010 року про промислові викиди (інтегроване запобігання та контроль забруднення). URL: https://www.kmu.gov.ua/storage/app/sites/1/55-GOEEI/%202010_75_%D0%84%D0%A1.pdf (дата звернення – 28.09.2019).
9. Kupchuk I., Telekalo N. Technical and technological prerequisites for the introduction of autonomous energy systems of agro-industrial enterprises using renewable energy sources. Theoretical and practical aspects of the development of modern scientific research: Scientific monograph. Part 2. Riga, Latvia: "Baltija Publishing", 2022. P. 29-62
10. Розпорядження КМУ «Про схвалення Енергетичної стратегії України на період до 2035 року «Безпека, енергоефективність, конкурентоспроможність»» від 18.08.2017 № 605-р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/605-2017-%D1%80> (дата звернення – 28.09.2019).
11. Міністерство енергетики та вугільної енергетики. Статистична інформація. URL: http://mpe.kmu.gov.ua/minugol/control/uk/publish/officialcategory?cat_id=245293185 .
12. Офіційний сайт Державної служби статистики України. URL: <http://www.ukrstat.gov.ua>. (дата звернення: 29.04.2022)



13. Гонтарук Я. В., Шевчук Г. В. Напрями вдосконалення виробництва та переробки продукції АПК на біопаливо. *Економіка та суспільство*. 2022. № 36. DOI: <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2022-36-8>
14. Lisowij M., Wright M. A review of biogas and an assessment of its economic impact and future role as a renewable energy source. *Reviews in Chemical Engineering*. 2020. Vol. 36, № 3. P. 401-421. URL: <https://doi.org/10.1515/revce-2017-0103>
15. Seadi T., Rutz D., Janssen R., Drosig B. Biomass resources for biogas production. Edited by Wellinger A., et al. *The Biogas Handbook. Science, Production and Applications*. Sawston, Cambridge, United Kingdom: Woodhead Publishing Limited, 2013. P. 2–51. <https://doi.org/10.1533/9780857097415.1.19>
16. Мазур К.В., Гонтарук Я.В. Перспективи розвитку біопалива в особистих селянських господарствах. *Підприємництво та інновації*. 2022. Випуск 23. С. 32–36
17. Гунько І.В., Галушак О.О., Кравець С.М. Аналіз технологічних систем. Обґрунтування інженерних рішень: навч. посіб. *Вінниця*: ВНАУ, 2019. 216 с.
18. Закон України «Про приєднання України до Базельської конвенції про контроль за транскордонними перевезеннями небезпечних відходів та їх видаленням» 803-XIV від 01.07.1999р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/803-14#Text>

References

- [1] Kupchuk, I.M., Yaropud, V.M., Telekalo, N.V., Granyak, V.F. (2020). Prospects and prerequisites for the introduction of autonomous power supply systems of agro-industrial enterprises. *Engineering, energy, transport of agro-industrial complex*, 3 (110). 51–63. [in Ukrainian].
- [2] Kaletnik, G.M. (2019). Prospects for increasing the energy autonomy of agricultural enterprises in the implementation of the energy strategy of Ukraine. *Bulletin of Agrarian Science of the Black Sea Coast*, 4 (104). 90–98. DOI: 10.31521 / 2313-092X / 2019-4 (104) -10. [in Ukrainian].
- [3] Decree of the President of Ukraine "On the National Security Strategy of Ukraine" of 26.05.2015 № 287/2015. URL: <https://www.president.gov.ua/documents/2872015-19070>. [in Ukrainian].
- [4] Honcharuk, I.V., Vovk, V.Y. (2020). Conceptual apparatus of the category of agricultural waste, their classification and prospects for further use for bioenergy production. *Economics, finance, management: topical issues of science and practical activity*, 3. 23–38. [in Ukrainian].
- [5] Gritsenko, A.V., Nedava, O.A. (2016). Indicative estimate of the amount of biogas emitted from the municipal solid waste landfill. *Problems of environmental protection and environmental safety*, 38. 38–42. [in Ukrainian].
- [6] Mazur, K.V., Yasinska, B.O. (2022). Vyrobnystvo biohazu yak napriam polipshennia ekolohichnoi sytuatsii Vinnytskoi oblasti [Biogas production as a direction of improving the ecological situation of Vinnytsia region]. *Skhidna Yevropa: ekonomika, biznes ta upravlinnia*, 1 (34), 170–174. [in Ukrainian].
- [7] Dyrektyva 2008/1/IeS Yevropeiskoho Parlamentu i Rady pro kompleksne zapobihannia i kontrol zabrudnen vid 15.01.2008 [Directive 2008/1/EU of the European Parliament and of the Council on Integrated Pollution Prevention and Control from January 15 2008]. zakon2.rada.gov.ua. URL: https://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/994_b02. [in Ukrainian].
- [8] Dyrektyva Yevropeiskoho Parlamentu ta Rady 2010/75/IeS pro promyslovi vykydy (intehrovane zapobihannia ta kontrol zabrudnennia) vid 24.11.2010 [Directive 2010/75/EU of the European Parliament and of the Council on industrial emissions (integrated pollution prevention and control) from November 24 2010]. www.kmu.gov.ua. URL: https://www.kmu.gov.ua/storage/app/sites/1/55-GOEEI/%202010_75_%D0%84%D0%A1.pdf. [in Ukrainian].
- [9] Kupchuk, I., Telekalo, N. (2022). Technical and technological prerequisites for the introduction of autonomous energy systems of agro-industrial enterprises using renewable energy sources. *Theoretical and practical aspects of the development of modern scientific research: Scientific monograph*. Part 2. Riga, Latvia: "Baltija Publishing". [in English].
- [10] Rozporiadzhennia KМУ «Pro skhvalennia Enerhetychnoi stratehii Ukrainy na period do 2035 roku "Bezpeka, enerhoefektyvnist, konkurentospromozhnist"» vid 18.08.2017 № 605-p [The order of the Cabinet of Ministers of Ukraine «On Approval of the Energy Strategy of Ukraine for the Period up to 2035 “Security, Energy Efficiency, Competitiveness”» from August 18 2017, № 605-p]. zakon.rada.gov.ua. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/605-2017-%D1%80>. [in Ukrainian].
- [11] Ministry of Energy and Coal Energy. Statistical information. URL: http://mpe.kmu.gov.ua/minugol/control/uk/publish/officialcategory?cat_id=245293185. [in Ukrainian].
- [12] Official site of the State Statistics Service of Ukraine. URL: <http://www.ukrstat.gov.ua>. (appeal date: 29.04.2022) . [in Ukrainian].
- [13] Gontaruk, Y.V., Shevchuk, G.V. (2022). Directions for improving the production and processing of agricultural products for biofuels. *Economy and society*, 36. DOI: <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2022-36-8>. [in Ukrainian].



- [14] Lisowij, M., Wright, M. (2020). A review of biogas and an assessment of its economic impact and future role as a renewable energy source. *Reviews in Chemical Engineering*, 36 (3). 401–421. URL: <https://doi.org/10.1515/revce-2017-0103>. [in English].
- [15] Seadi, T., Rutz, D., Janssen, R., Drosch, B. (2013). Biomass resources for biogas production. Edited by Wellinger A., et al. *The Biogas Handbook. Science, Production and Applications*. Sawston, Cambridge, United Kingdom: Woodhead Publishing Limited. 2–51. <https://doi.org/10.1533/9780857097415.1.19>. [in English].
- [16] Mazur, K.V., Gontaruk, Ya.V. (2022). Prospects for the development of biofuels in private farms. *Entrepreneurship and innovation*, 23. 32–36. [in Ukrainian].
- [17] Gunko, I.V., Galushchak, O.O., Kravets, S.M. (2019). *Analysis of technological systems. Substantiation of engineering decisions: textbook*. Vinnytsia: VNAU. [in Ukrainian].
- [18] Law of Ukraine "On Ukraine's accession to the Basel Convention on the Control of Transboundary Movements of Hazardous Wastes and Their Disposal" 803-XIV of 01.07.1999. <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/803-14#Text>. [in Ukrainian].

PROSPECTS FOR INCREASING THE LEVEL OF ENERGY AUTONOMY OF PROCESSING ENTERPRISES OF AIC OF UKRAINE WITH THE HELP OF BIOGAS PRODUCTION

Domestic processes of production and processing of agricultural products are characterized by a high specific energy capacity, which determines our economy as one of the most energy inefficient, and the resulting products, non-competitive in the agricultural food market of the EU countries, leaving us only the role of an exporter of raw materials for European food industry enterprises.

In addition, almost all processes of the agro-industrial complex of Ukraine are characterized by environmental pollution, which generally contradicts the principles of ecologization and decarbonization of the economy, defined by the European Commission in the framework of the European Green Deal. Considering that the full integration of Ukraine into the EU is defined by the Constitution of Ukraine as the main vector of the foreign policy course, as well as the general global trends towards rising prices for fossil fuels and insufficient provision of the country with its own primary energy resources, research aimed at rationalizing the structure of energy consumption is becoming increasingly important. . fuel in accordance with EU standards and the greening of production, including through the introduction of alternative energy technologies at processing enterprises of the agro-industrial complex of Ukraine.

The article assesses the resource potential of domestic agriculture and presents possible options for agrobiomass available in sufficient quantities suitable for anaerobic digestion followed by methane generation. Based on the systematization and generalization of information obtained from open sources, a potential direction for solving the problems of increasing the level of autonomy of processing enterprises was proposed, based on the creation of a macro-level technological system with four main elements: an agricultural enterprise, a processing enterprise, a territorial community and a biogas complex, and a fundamental structural model of such a territorial cluster.

Key words: biomass, methane generation, household waste, substrate, by-products, biological fertilizers.

F. 2. Fig. 6. Table. 7. Ref. 18.

ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ

Купчук Ігор Миколайович – кандидат технічних наук, доцент кафедри загальнотехнічних дисциплін та охорони праці Вінницького національного аграрного університету (вул. Сонячна, 3, м. Вінниця, 21008, Україна, +380978173992, kupchuk.igor@i.ua, <http://orcid.org/0000-0002-2973-6914>).

Гонтарук Ярослав Вікторович – кандидат економічних наук, старший викладач кафедри аграрного менеджменту та маркетингу Вінницького національного аграрного університету (вул. Сонячна, 3, м. Вінниця, 21008, Україна, +380973748494, e050122015@gmail.com, <http://orcid.org/0000-0002-7616-9422>).

Присяжнюк Юрій Сергійович – аспірант за спеціальністю 133 «Галузеве машинобудування» Вінницького національного аграрного університету (вул. Сонячна, 3, м. Вінниця, 21008, Україна, +380964117015, prisaznuku13@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-3351-3676>).

Ihor Kupchuk – Ph.D. of Engineering, Associate Professor at the Department of General Technical Disciplines and Labor Protection of Vinnytsia National Agrarian University (3, Sonychna St., Vinnytsia, 21008, Ukraine, +380978173992, kupchuk.igor@i.ua, <http://orcid.org/0000-0002-2973-6914>).

Yaroslav Gontaruk – Ph.D. of Economic Sciences, Senior Lecturer, Department of Agrarian Management and Marketing, Vinnytsia National Agrarian University (3 Sonyachna St., 21008, Vinnytsia, Ukraine, +380973748494, e050122015@gmail.com, <http://orcid.org/0000-0002-7616-9422>).

Yurii Prisyazhniuk – postgraduate in specialty 133 «Sectoral Mechanical Engineering» of Vinnytsia National Agrarian University (3, Sonychna St., Vinnytsia, 21008, Ukraine, +380964117015, prisaznuku13@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-3351-3676>).