

ВИКОРИСТАННЯ ЕЛЕКТРОТЕХНОЛОГІЙ ПЕРЕРОБКИ БІОМАСИ ТА СПАЛЮВАННЯ ЗБІДНЕНИХ ВУГЛЕВОДНЕВИХ СУМІШЕЙ ДЛЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ВУГЛЕЦЕВОЇ НЕЙТРАЛЬНОСТІ

М. М. Заблодський, доктор технічних наук, професор

С. А. Шворов, доктор технічних наук, професор

В. І. Троханяк, кандидат технічних наук, доцент

А. П. Андрієвський, кандидат технічних наук, доцент

Є. В. Коваль, аспірант

Національний університет біоресурсів і природокористування України

E-mail: zablodskiyinn@nubip.edu.ua

Анотація. Запропоновані технологічні структури з використанням електротехнологій для переробки біомаси та спалювання збіднених вуглеводневих сумішей для забезпечення вуглецевої нейтральності. Побудована інноваційна схема енергозабезпечення в системі переробки побічних продуктів птахівництва в добриво, корм та паливо. Визначені параметри викидів при експериментальних дослідженнях процесів спалювання традиційного палива і палива з додаванням активованої води в камері згоряння двигунів внутрішнього згоряння для розробленої технологічної структури багатостримерного імпульсно-розрядового супроводження горіння стехіометрично збідненої пальної повітряно-водно-вуглеводневогазової суміші. Запропонована структурна схема системи оцінювання розподілу інвестицій між проектами низьковуглецевих енергетичних технологій, а також вираз, за яким можна оцінити викиди вуглецю під час процесів переробки біомаси та спалювання збіднених вуглеводневих сумішей з врахуванням кількості викидів вуглецю під час процесів збору, обробки і транспортування біомаси, виробництва біопалива або трикомпонентних пальних сумішей.

Ключові слова: поліфункціональний електромеханічний перетворювач, обертове магнітне поле, піроліз, горючий газ, біовуглець, багатостримерні імпульсні розряди

Актуальність. Глобальними проблемами сучасної епохи стали криза нестачі енергії та зміни клімату, які вимагають формування завдань та досягнення цілей вуглецевої нейтральності (CN) у всьому світі. Найновішим інструментом Європейського Союзу для боротьби зі зміною клімату є механізм регулювання кордону вуглецю (СВАМ), який вимагає від компаній звітувати про вбудований

вуглець на рівні продукту [1,2]. Ядерна та відновлювана енергія є рушійними силами декарбонізації. З точки зору трансформації вуглецевої нейтральності, необхідно запропонувати пріоритетні послідовності для різних енергоефективних і відновлюваних енерготехнологій, які можуть бути запроваджені в різних кліматичних регіонах країни [3]. У формуванні траєкторій чистого нуля електроенергія буде основою для енергетичної системи з нейтральним викидом вуглецю.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Вбудовані викиди продуктів включають прямі та деякі непрямі викиди. Прямі викиди стосуються викидів, наприклад CO_2 та інших парникових газів, що вивільняються безпосередньо в результаті хімічних реакцій на місці, таких як спалювання, розкладання, ферментація, гниття та руйнування органічних матеріалів, виробництво хімічних продуктів. Викиди вуглецю можуть бути пов'язані з енергетикою. Непрямі викиди – це викиди, які пов'язані зі споживанням електроенергії під час виробництва товарів. У дослідженні [3] метод перерахування з діалектичним аналізом був прийнятий для огляду сучасної літератури та порівняння дорожніх карт декарбонізації в регіонах і країнах. Результати вказують на те, що необхідні компромісні стратегії, щоб подолати конфлікт між недостатніми стимулами на основі зелених тарифів і великим економічним тиском (високі інвестиції у системи відновлюваних джерел). Саме регіональні енергетичні системи створюються для сприяння «вуглецево-нейтральній» економіці територіальних громад, а самі системи можуть стати локальними самоциркулюючими екосистемами [4]. У цій системі при виробництві сільськогосподарської продукції з'являються відходи, які використовуються для отримання газоподібного палива, такого як метан CH_4 і аміак (NH_3) шляхом гідротермічної попередньої обробки та високотемпературної ферментації. Отриманий під час крекінгу аміаку водень додається при спалюванні до збідненої паливної суміші «повітря – метан» у двигунах при виробництві електроенергії, при цьому вихідна потужність зростає при відносно більшому коефіцієнті надлишку повітря. У роботі [5] для задовільнення житлових і комерційних потреб, а також транспортних потреб, запропоновані дві гібридні системи: конфігурація «сонце-

водень» і компонентами системи накопичення енергії (електролізер і резервуар для зберігання); конфігурація «вітер-водень». Результати оцінки ефективності гібридних конфігурацій показали, що конфігурація «сонце-водень» здатна забезпечуючи 35 % житлових і комерційних потреб за рахунок сонячної енергії та 100 % потреб транспорту за допомогою зеленого водню. Конфігурація «вітер-водень» здатна задовольнити більшість житлових і комерційних потреб і близько 44 % попиту на транспортне паливо за рахунок зеленого водню. Оцінка вартості енергії для кожної із запропонованих гібридних конфігурацій, показала, що конфігурація «сонце-водень» більш конкурентоспроможна, ніж «вітер-водень».

Економічна та екологічно безпечна утилізація пір'я є однією з головних проблем для територій, де розташовані підприємства галузі птахівництва. Застосування прямого спалювання потребує достатньо тривалого часу перебування в зоні горіння. Тому з економічної та технічної точок зору доцільно спалювати пір'я лише на великому сміттєспалювальному заводі. Біодеградація пір'я та інших відходів на основі кератину потребує подальших досліджень по удосконаленню технологій і промислового масштабування [6].

Технологія, на яку покладають найбільше сподівань – біоенергетика із уловлюванням, зберіганням та захороненням вуглецю – BECCS (БіоУЗВ), відіграватиме значну роль у безпосередньому захопленні вуглецю та перетворенні в органічне паливо. У той же час біовугілля, яке утворюється шляхом піролізу біомаси, стійке до розкладання. При додаванні до ґрунту біовугілля здійснює ґрунтову секвестрацію вуглецю [7].

Мета дослідження – розробка технологічних структур з використанням електротехнологій переробки біомаси та спалювання збіднених вуглеводневих сумішей і методичних засад їх оцінки щодо забезпечення вуглецевої нейтральності.

Матеріали та методи дослідження. За методологічну основу досліджень прийнято системний підхід, принципи якого згруповані за ознаками функціонування, системоутворювання та інструментальною. За ознакою функціонування обрані принципи системності, узгодженості, сумісності та комплексності підходу, які полягають в необхідності всебічного охоплення всієї

керованої системи, максимально можливого обліку усіх властивостей, усіх напрямків перетворення енергії з врахуванням біологічної підсистеми, структурну, функціональну та теплову інтеграцію. За ознакою системоутворювання застосовані принципи єдиної основи, неповної детермінованості та стохастичності, доцільності. Принцип єдності основи мав конкретну реалізацію у застосуванні сукупності понять та визначень фізичних полів, які діють в технічній, біологічній підсистемах і навколишньому середовищі як підсистемі. Це сприяє генерації нових знань, спрямованих на вирішення проблем, що виникають у системі та не можуть бути отримані самостійно у кожній окремій системі.

У сучасній практиці відсутні однозначні знання показників ефективності застосування електротехнологій у комплексах переробки біомаси і досягнення синергетичного ефекту в забезпеченні вуглецевої нейтральності. Тому з урахуванням ризиків і застосуванням принципів неповної детермінованості та стохастичності при наявності значної різноманітності причинно-наслідкових зв'язків усередині елементів підсистем, між ними й навколишнім середовищем з певним ступенем надійності на основі аналітичного підходу розроблена методика кількісної оцінки ефективності впровадження електротехнологій в комплексах переробки побічних продуктів і відходів.

За інструментальною ознакою застосована група принципів, яка відображає принципи дослідження і створення складних систем, а саме принципи безперервності, комплементарності та актуалізації технічних, економічних і екологічних аспектів. Використання електротехнологій у комплексах переробки побічних продуктів і відходів має в більшості характер дискретних виробництв, де технологічний процес має широку диференціацію. Виходячи з принципу безперервності, важливим завданням є мінімізація перерв у структурі не тільки окремих виробничих циклів, але і синхронізації операцій, застосування технологічних і організаційних методів оперативного управління виробництвом в межах територіальних громад. У нашому випадку принцип безперервності і комплементарності застосовано і продемонстровано на прикладі створення системи переробки побічних продуктів птахівництва [8]. При цьому принцип

комплементарності реалізується на різних рівнях шляхом використання ресурсного потенціалу кожної з окреслених підсистем і їхній взаємодії, а також утворення зв'язків між просторово взаємодоповнюючими фрагментами молекул (утворення водневих зв'язків, гідрофобних взаємодій, електростатичних взаємодій заряджених функціональних груп тощо).

При проведенні експериментальних досліджень параметрів викидів в процесах спалювання традиційного палива і палива з додаванням активованої води в камері згоряння двигунів внутрішнього згоряння використовувалася холодна активна паливно-водно-повітряна суміш, яка відрізняється тим, що залежно від режимів функціонування двигуна внутрішнього згорання компоненти суміші перебувають у таких співвідношеннях, мас. %: активний газ 7,7-8,7; розпилена активна дистильована вода 1,3-0,3; активне повітря 91. Стехіометричне співвідношення активного газу до повітря перебуває в межах від 1:11,8 до 1:10,5. Для вимірювання співвідношення повітря/паливо використовувався портативний цифровий широкосмуговий вимірювач INNOVATE 39210 та реєстратор даних LM-2 Dual O2. Датчик температури вихлопних газів 2м EGT, К-Тип термопари застосовувався для вимірювання температури вихлопу двигуна. Для вимірювання швидкості потоків газу і повітря використовувалися витратоміри EE741. Для вимірювання вмісту вихлопних газів використано газоаналізатор Chemist 600.

Результати досліджень та їх обговорення. Нижче наведені розроблені алгоритми і технологічні структури з використанням електротехнологій для переробки біомаси та спалювання збіднених вуглеводневих сумішей з метою забезпечення вуглецевої нейтральності. Запропонована концепція гібридної системи енергозабезпечення електротехнологічного комплексу, яка забезпечує створення інтегрованої системи технологічних процесів для замкненої або частково замкненої безвідходної енергозберігаючої переробки побічних продуктів птахівництва та відходів рослинництва. Вона відрізняється встановленням певного балансу і оптимізації енергопотенціалу біомаси побічних продуктів птахівництва для генерації електричної і теплової енергії з енергопотенціалом сировини в поточних режимах її переробки в білковий концентрат, добрива і паливо, умовами

консолідації з основними мережами енергопостачання птахофабрики при пікових сезонних навантаженнях. На рис.1 представлена інноваційна схема енергозабезпечення в системі переробки побічних продуктів птахівництва у добриво, корм та паливо [8].

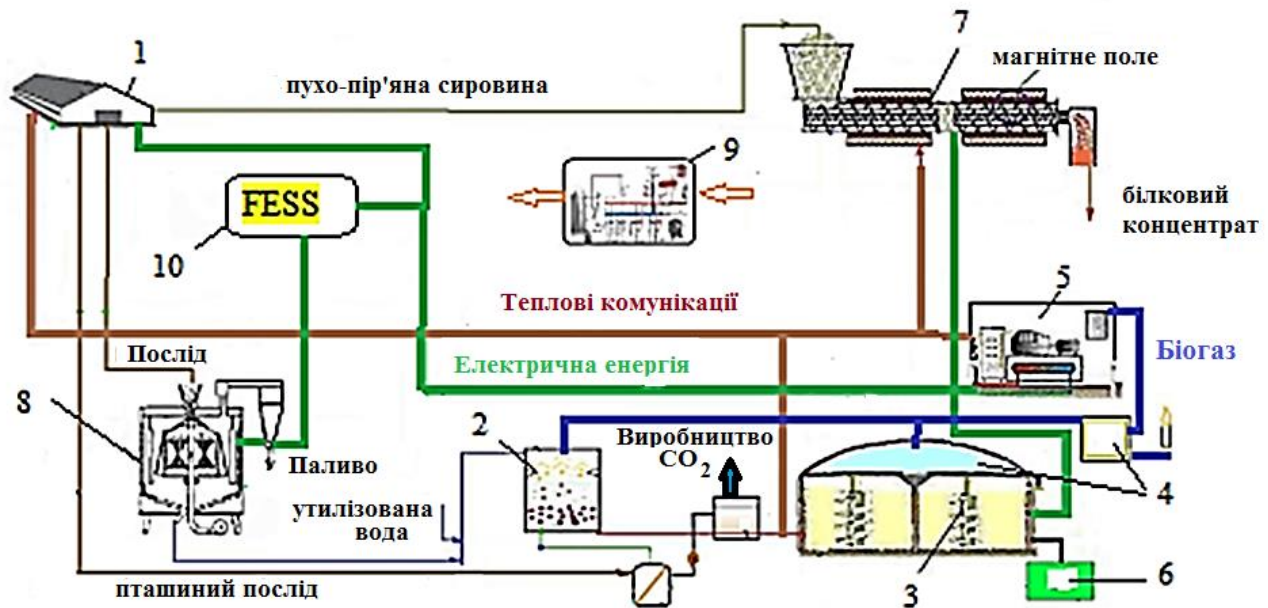


Рис.1. Схема енергозабезпечення в системі переробки побічних продуктів птахівництва:

1 – птахоферма та убійний цех; 2 – двомодульний біореактор гідролізу та метаногенеза; 3 – електромеханічні перетворювачі; 4 – газольдер і система очищення біогазу; 5 – блочна когенераційна установка; 6-сепаратор; 7 – технологічна лінія гідротермічної переробки пухо-пір'яного сировини; 8 – технологічна лінія високошвидкісної відцентрової переробки посліду в порошкоподібне і гранульоване паливо; 9 – пост інтелектуального керування, суміщений з контролером рекуперації енергії; 10 – система накопичення енергії маховика (FESS)

Двомодульний біореактор разом з когенераційним блоком і комунікаційним обладнанням формують автономну систему енергозабезпечення, що подає електроенергію і теплоносії від когенераційного блоку до всіх трьох технологічних ліній. Усі технологічні лінії містять шнекові або заглибні поліфункціональні електромеханічні перетворювачі, статори яких підключені до джерела змінного струму. При цьому створюються обертові магнітні поля, що збуджують вихрові струми в зовнішніх масивних роторах, за рахунок яких останні нагріваються. При

взаємодії обертових магнітних полів і вихрових струмів створюються результуючі електромагнітні моменти, що обертають зовнішні масивні ротори з гвинтовою навивкою і, відповідно, виконуються в залежності від функцій технологічної лінії операції нагрівання, транспортування, змішування, ультрависоких відцентрових прискорень, тонкого подрібнення, водного гідролізу кератину, анаеробного бродіння субстрату з впливом магнітного поля і поверхневих електричних потенціалів. Для кожної з операцій необхідна швидкість обертання і температура зовнішніх масивних роторів з гвинтовою навивкою, яка встановлюється шляхом зміни глибини проникнення обертового магнітного поля у масив роторів та співвідношень електромагнітних моментів, які регулюється зміною частоти і напруги джерела живлення.

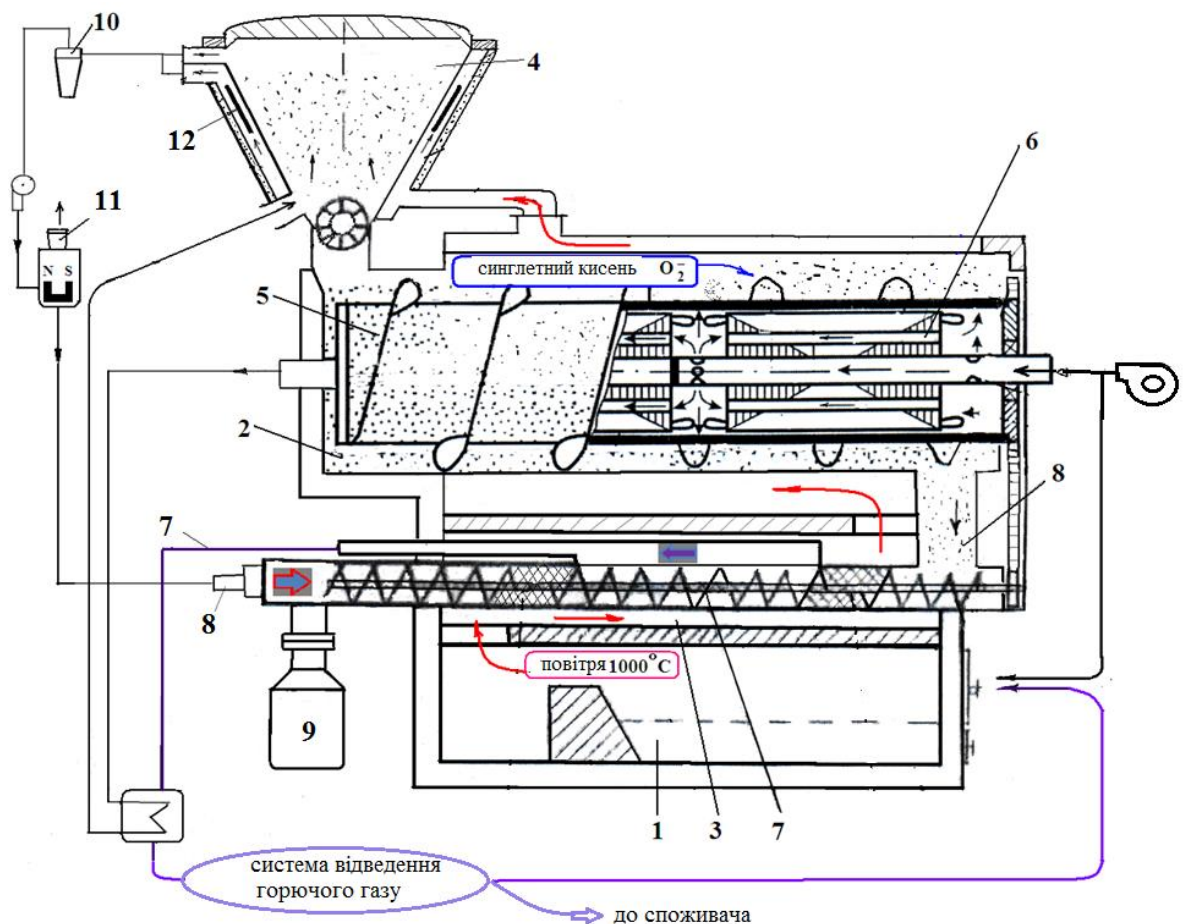


Рис.2. Структурна схема енерготехнологічного комплексу для термохімічної конверсії рослинної біомаси

З екологічної точки зору запропонована технологія є безвідходна, при використанні якої всі види вуглецевмісних відходів сільськогосподарської

діяльності можна розглядати, як незатребуваний ресурс для декарбонізації всього енергетичного сектора України.

Структурна схема енерготехнологічного комплексу для термохімічної конверсії рослинної біомаси з високим ступенем рекуперації теплової енергії відпрацьованого теплоносія зображена на рис.2. Газовий теплоносій формують у технологічній топці 1 і подають для зовнішнього нагрівання камери сухої перегонки 2 і камери прокалювання 3. Теплоносій може бути сформований теплогенератором, що працює на відходах виробництв або з підключенням до біогазової установки [9].

Подрібнена біомаса подається в бункер завантажувального пристрою 4 і далі за допомогою живильника – в шнекову герметичну камеру сухої перегонки 2, в якій здійснюється двобічне нагрівання шару біомаси шляхом кондуктивного передавання тепла і випромінювання через стінки камери і від поверхні зовнішнього ротора поліфункціонального електромеханічного перетворювача 5. Індуктори 6 електромеханічного перетворювача, які підключені до джерела змінної напруги і частоти, створюють обертові магнітні поля. Більша частина відновлювальних реакцій є ендотермічною, коли фізична теплота біовуглецю поглинається з утворенням горючих газів CO та H_2 , які суттєво підвищують теплоту згоряння вихідного горючого газу 7. Через патрубок подачі додаткового дуття 8 назустріч руху біовуглецю, який вивантажується у ємність 9, подають за допомогою системи відведення повітря 10 (циклон-вентилятор) очищену пароповітряну суміш. При цьому використовується пристрій для очищення від кисню і оксидів азоту 11, заснований на методі магнітної конвекції. Під дією низькочастотного (8-55 Гц) магнітного поля змінюються властивості вологи, що випаровується з біомаси. Термографічні вимірювання в режимі енергограм показали, що теплота випаровування омагніченої води на 11 % нижча, ніж теплота випаровування звичайної дистильованої води без магнітної обробки [10]. Оскільки на поверхні масивного ротора існує різниця електричної напруженості контурів вихрових струмів, відбувається також електроліз водних розчинів з частковим виділенням водню.

За запропонованим способом реалізується етап генерації заряджених негативно водних об'єктів шляхом використання магнітного поля, етап попереднього нагрівання водних об'єктів для отримання водних розчинів у вигляді пари, ін'єкція заряджених негативно і електростатично підсилених водних об'єктів у згадані тверді вуглецеві матеріали в камері піролізу, відбір синтез-газу, отриманого з твердих вуглецевих матеріалів [11,12]. Для підвищення ККД установки збільшений ступінь використання енергії біомаси шляхом подавання частки виробленого горючого газу до топки, використання залишкового тепла відпрацьованих газів для конверсії в електрику в пристрої 12.

Важливою проблемою підвищення енергетичної безпеки держави, яку треба вирішувати на промислових і енергетичних об'єктах, є раціональне використання дефіцитних вуглеводневих енергоресурсів і зниження викидів шкідливих речовин при спалюванні. Запропонована електротехнологія оброблення компонентів, формування та використання трикомпонентної водно-вуглеводнево-повітряної пальної суміші для функціонування теплових машин [13]. Спалювання трикомпонентної водно-вуглеводнево-повітряної пальної суміші здійснюється у два етапи. На першому етапі при спалахуванні вуглеводневого палива у масиві кисню та озону енергія первинного тиску перетворюється в корисну роботу відповідних механізмів теплових машин, а тепло горіння в умовах тиску передати воді для її миттєвої термічної дисоціації на водень та кисень. Далі, на другому етапі забезпечується горіння продуктів термічної дисоціації води з формуванням вторинного тиску та продовженням корисної роботи цих же механізмів теплових машин. Унаслідок використання такої суміші зі зниженим вмістом вуглецю та азоту зменшується вміст чадного газу CO і окислів азоту NO_x .

На рис.3 представлена одна з модифікацій розробленої технологічної структури багатостримерного імпульсно-розрядового супроводження горіння стехіометрично збідненої пальної повітряно-водно-вуглеводневогазової суміші.

Від генератора 1 імпульсів струму високої напруги подають імпульси вздовж провідника-електрода 2 (умовно показано штриховими лініями) до простору запалювання та супроводження горіння 3, що спричиняє виникнення множини

багатостримерних імпульсних розрядів 4 та полів електромагнітної природи 5 навколо них.

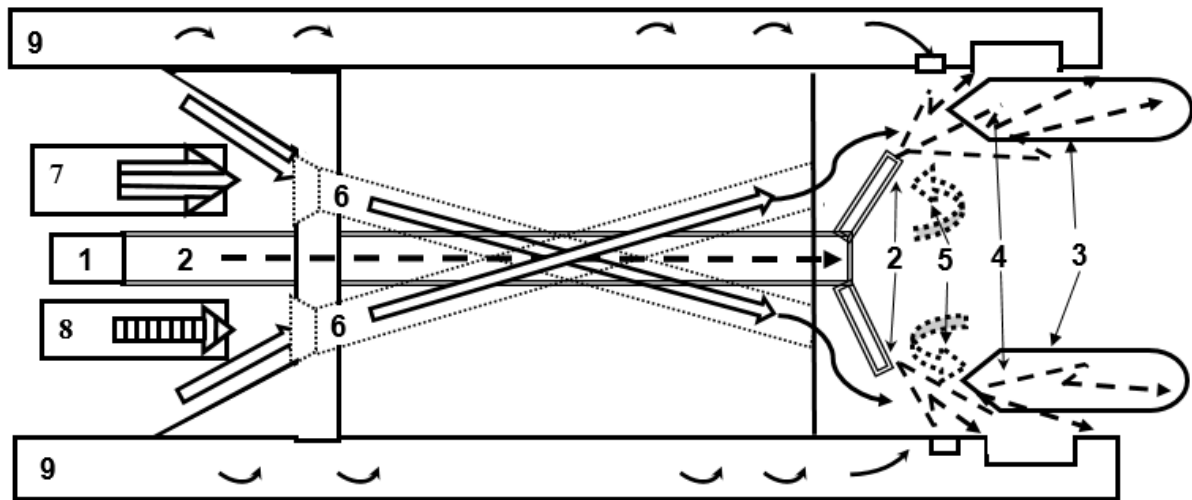


Рис. 3. Схема технологічної структури багатостримерного імпульсно-розрядового супроводження горіння стехіометрично збідненої пальної повітряно-водно-вуглеводневогазової суміші

Одночасно вздовж гвинтової магістралі 6 подають вуглеводневий газ (на рис.3 показано суцільними стрілками) та насичують його ежекційно або інжекційно від генератора водяної пари 7 сухою водяною парою (на рис.3 умовно показано великою стрілкою з горизонтальними лініями) або генератора водяного туману 8 водяним туманом (на рис.3 умовно показано великою стрілкою з вертикальними лініями) в умовах впливу імпульсів полів електромагнітної природи. При цьому забезпечується одночасне закручування сухої водяної пари або водяного туману в потоці вуглеводневого газу в гвинтовій магістралі 6, їх ефективне змішування і оброблення імпульсами полів 5 електромагнітної природи від множини стримерів імпульсів розрядів 4. У результаті в просторі запалювання та супроводження горіння 3 здійснюється формування гомогенної пальної вуглеводнево-тумановодної суміші або вуглеводнево-пароводної суміші у масиві багатостримерних розрядів.

Одночасно подають вздовж та закручують в електропровідній магістралі-електроді 9 повітря в напрямку до простору запалювання та супроводження горіння 3 в умовах впливу на повітря імпульсів полів 5 електромагнітної природи. При цьому забезпечується інтенсивне миттєве змішування закручених повітря з вуглеводнево-

тумановодною сумішшю або вуглеводнево-пароводною сумішшю у просторі запалювання та супроводження горіння 3 у масиві багатостримерних імпульсів розрядів 4 та формується стехіометрично збіднена вуглеводневим газом гомогенна повітряно-пароводно-вуглеводневогазова або повітряно-тумановодно-вуглеводневогазова суміш. Електрична складова енергії, необхідної для роботи генератора імпульсів струму високої напруги, автономно забезпечується конверсією частини теплової енергії процесів спалювання.

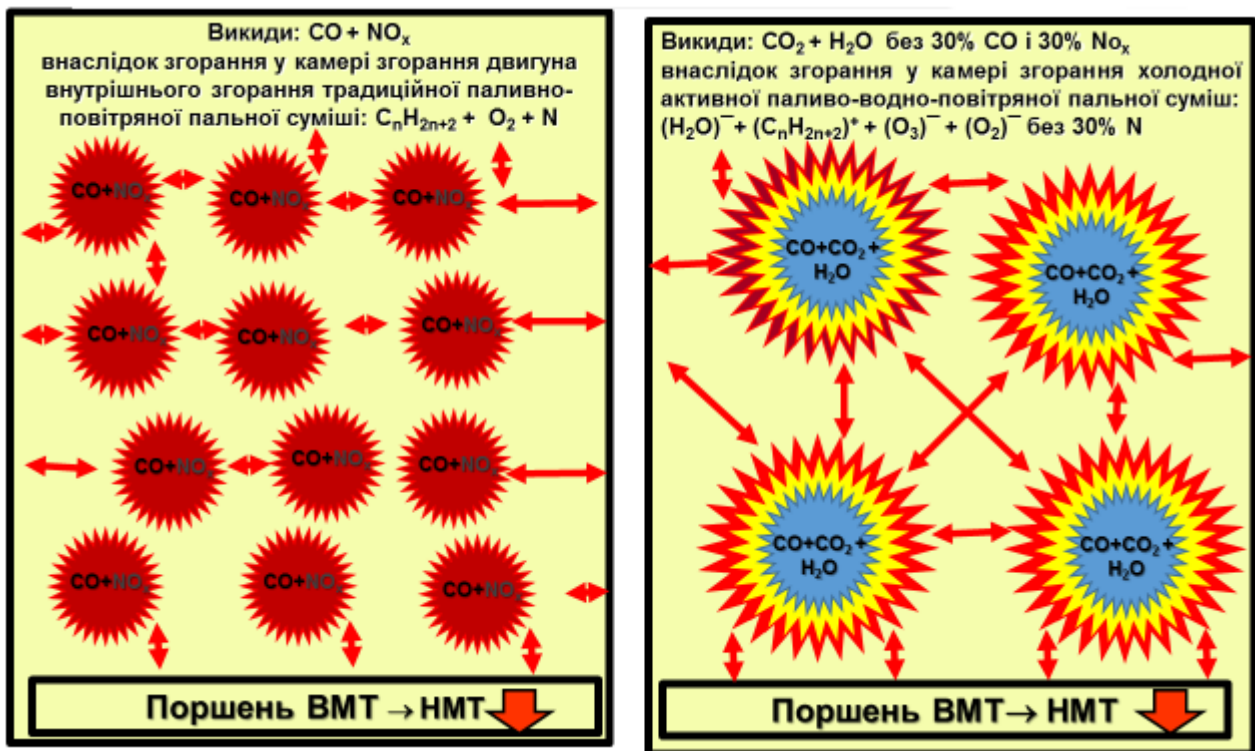


Рис.4. Викиди при використанні холодної активованої води як пального для двигунів внутрішнього згорання

На рис.4 представлено композицію викидів для традиційного палива і палива з додаванням активованої води в камері згорання двигунів внутрішнього згорання. На відміну від традиційного двокомпонентного складу горючих сумішей, виготовлених з енергетичної компоненти – газоподібного вуглеводневого палива. C_nH_{2n+2} та окислювача – кисню O₂ у складі атмосферного повітря з коефіцієнтом надлишку повітря 1,45, пропонується використовувати трикомпонентну горючу суміш. Це суміш енергетично активної води (H₂O)⁻, газоподібного вуглеводневого палива (C_nH_{2n+2})⁺ та окислювачів – кисню (O₂)⁻ і озона (O₃)⁻ з складу атмосферного повітря.

У таблиці представлені порівняльні результати параметрів викидів при експериментальних дослідженнях процесів спалювання традиційного палива і палива з додаванням активованої води в камері згоряння двигунів внутрішнього згоряння.

1. Викиди при експериментальних дослідженнях процесів спалювання

Параметри	Традиційна паливна суміш	Паливна суміш з електромагнітною активацією
Температура диму, °С	155, 6	171,3
Кисень, %	6,5	0
СО, ррм	36	16
NO _x , ррм	26	18,2
СО ₂ макс, %	13,7	9,6
Коефіцієнт надлишку повітря	1,45	1,58

Досягнуті такі ж ефекти, як у дослідженнях двигуна внутрішнього згоряння при зміні складу паливної суміші «біогаз-повітря» з додаванням водню в умовах збідненого горіння [4]. Додавання водню підвищило температуру згоряння, що призвело до підвищення тиску в циліндрі, а також зменшується викид вуглекислого газу та оксидів азоту.

Будь яка розробка технологічних структур з використанням електротехнологій переробки біомаси та спалювання збіднених вуглеводневих сумішей потребує методичних засад їх оцінки щодо забезпечення вуглецевої нейтральності. Викиди вуглецю під час процесів, які розглядаються, можна оцінити за підходом, що запропонований в роботах [14, 15], але з врахуванням кількості викидів СО₂ під час процесів збору, обробки і транспортування біомаси, виробництва біопалива або трикомпонентних паливних сумішей. Викиди вуглецю визначаються за таким виразом:

$$M = \frac{44}{12} \cdot E_{\text{в.п}} \cdot C \cdot O + B$$

де M – кількість викидів в кг; $E_{в.п}$ – загальна енергія в залежності від кількості витраченого палива і теплотворної здатності палива, ТДж; $\frac{44}{12}$ C – вміст вуглецю в одиниці енергії палива залежно від виду палива; O — коефіцієнт окислення, що вказує на відсоток вуглецю в паливі, який зрештою перетворюється на CO_2 ; B – сукупні викиди CO_2 від виробництва та транспортування палива, кг $CO_{2\text{ екв.}}$ на кг палива.

За [16] для отримання єдиного значення, що охоплює всі парникові гази, викиди оксиду нітрогену та метану було переведено в $CO_{2\text{ екв.}}$. В основі цих перетворень лежить потенціал глобального потепління (Global Warming Potential – GWP): викиди 1 граму метану та оксиду нітрогену є еквівалентними викидам 23 та 296 грам CO_2 , відповідно.

Коефіцієнт окислення більшості процесів перетворення енергії за умовчанням приймається 1. Добуток вмісту вуглецю у паливі та коефіцієнту $44/12$ (за умовчанням) являє собою коефіцієнт викидів (кг/ ТДж). Оскільки використання значень за замовчуванням про викиди парникових газів у процесі виробництва і транспортування у більшості випадків неможливе, виробник може передавати покупцю інформацію, що містить реально виміряні дані.

Завданням з значною невизначеністю є розподіл інвестицій між проектами низьковуглецевих енергетичних технологій для досягнення кліматичних цілей економічно ефективним способом. Ці невизначеності можна поділити на параметричні і структурні, які пов'язані відповідно з постійним розвитком технологій та програмних комплексів для моделювання, еволюцією вартості та ефективності енергетичних технологій, також з причинно-наслідковими зв'язками, наприклад, економічними та суспільними наслідками довгострокових інвестицій.

Пропонується структурна схема оцінювання розподілу інвестицій між проектами низьковуглецевих енергетичних технологій, яка представлена на рис.5.

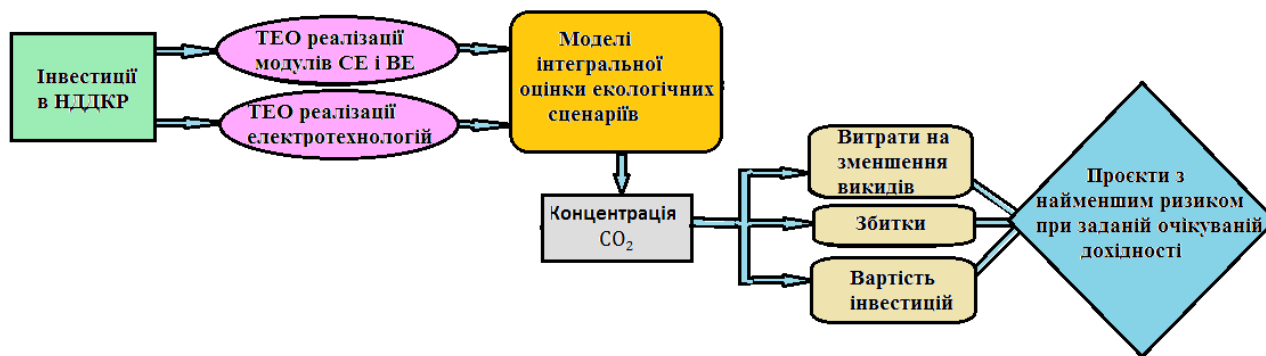


Рис. 5. Структурна схема оцінювання розподілу інвестицій між проектами низьковуглецевих енергетичних технологій

Найбільш актуальними глобальними екологічними сценаріями на цей час є The Shared Socio-Economic Pathways (SSPs), Representative Concentration Pathways (RCPs), Shared Climate Policy Assumptions (SPA). RCPs являють собою прогнози емісій парникових газів (ПГ). Ефективним інструментом для розрахунку глобальних екологічних сценаріїв є моделі інтегральної оцінки. Загальна мета полягає в тому, щоб мінімізувати суму очікуваного значення вартості скорочення викидів (від GCAM), вартості збитків (від DICE/PAGE/FUND) та альтернативної вартості портфолію НДДКР.

Висновки і перспективи.

1. Аналіз сучасного стану технологій та обладнання показав, що жодне окреме паливо чи технологія не можуть у всьому енергетичному секторі досягти чистих нульових викидів CO₂. Успіх залежить від широкого спектру видів палива та технологій, адаптованих до окремих частин енергетичного сектору та до конкретних умов країни.

2. Запропоновані алгоритми і технологічні структури з використанням електротехнологій для переробки біомаси та спалювання збіднених вуглеводневих сумішей можуть розглядатися як вагоме доповнення в системах забезпечення вуглецевої нейтральності.

3. Подальші дослідження повинні виконуватися в напрямку оцінки синергетичного ефекту використання електротехнологій переробки біомаси та спалювання збіднених вуглеводневих сумішей для забезпечення вуглецевої нейтральності.

Подяка

Дослідження виконано за підтримки Національного фонду досліджень України, конкурсу «Наука для відбудови України у воєнний та повоєнний періоди», гранту № 94/0129.

Список використаних джерел

1. Marcu Andrei, et al, "Border Carbon Adjustment in the EU: Indirect Emissions in the CBAM" European Roundtable on Climate Change and Sustainable Transition (ERCST) 05 July 2022 Online. Available at: <https://ercst.org/indirect-emissions-in-the-eu-cbam-2022/>
2. The European Union's Newest Tool to Tackle Carbon Leakage April 19, 2024 By Samuel Huestis Available at: <https://rmi.org/the-european-unions-newest-tool-to-tackle-carbon-leakage/>
3. Zhou Y. (2023). Worldwide carbon neutrality transition? Energy efficiency, renewable, carbon trading and advanced energy policies. Energy Reviews, 100026. journal homepage. Available at: www.journals.elsevier.com/energy-reviews
<https://doi.org/10.1016/j.enrev.2023.100026>
4. Luo, H., Yu, M., Zhai, C., An, Y., Wang, C., Nishida, K. (2023). Study on fermentation gas combustion with hydrogen addition under various throttle openings. Green Energy and Resources, 1(1), 100003. <https://doi.org/10.1016/j.gerr.2022.100003>
5. Al-Ali, H., Ali, D., & Atteya, A. I. (2023). Investigating the potential of renewable-hydrogen energy storage systems (RHES) in enabling Scotland's farming communities net-zero transition and sizing the proposed RHES system. Green energy and environment technology, 2.
6. Kwiatkowski, K., Krzysztoforski, J., Bajer, K., & Dudyński, M. (2013). Bioenergy from feathers gasification–Efficiency and performance analysis. Biomass and bioenergy, 59, 402-411. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2013.07.013>
7. Minx, J. C., Lamb, W. F., Callaghan, M. W., Bornmann, L., & Fuss, S. (2017). Fast growing research on negative emissions. Environmental Research Letters, 12(3), 035007. DOI 10.1088/1748-9326/aa5ee5
8. Система переробки побічних продуктів птахівництва у добриво, корм та паливо: пат. України на винахід № 126120, МПК А23N 17/00 (2016.01). заявл. 15.07.2019 р., опубл. 17.08.2022, бюл. № 33.
9. Спосіб деструктивної енерготехнологічної переробки біомаси: пат. України на винахід № 120684. МПК (2006) С10В 51/00 С10В 53/00, заявл. 09.11.2018 р, опубл. 10.01.2020, бюл. № 1/2020
10. Баран Б.А. Фізико-хімічне обґрунтування дії магнітного поля на водні розчини для розробки систем техногенно-екологічної безпеки. Дисертація на

здобуття наукового ступеня доктора хімічних наук за спеціальністю 21.06.01. екологічна безпека. Хмельницький національний університет, м Хмельницький, 2005.

11. Kronenderg, K.J. Verzuge der magnetischen vvasserhandlung, die neue arzliche. 1988. Bd. 22. № 35. P. 69–74.

12. Methods and apparatus for sold carbonaceous materials synthesis gas generation. Pat/ № USOO763807OB2, publ. 29.12.2009.

13. Спосіб багатостримерного імпульсно-розрядового супроводження горіння стехіометрично збідненої пальної повітряно-водно-вуглеводневогазової суміші: пат. України на винахід № 125775. МПК H05H 1/24 (2006.01), C10K 3/06 (2006.01), заявл. 05.11.2020 р, опубл. 01.06.2022, бюл. № 22.

14. Eggleston HS, Buendia L, Miwa K, Ngara T, Tanabe K (2006) 2006 IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories. IPCC, Japan.

15. Zheng, Y., Gao, L., Dong, R., & He, S. (2022). Role of CCUS in carbon neutral power system. Carbon Neutrality, 1(1), 19. <https://doi.org/10.1007/s43979-022-00015-7>

16. Директива 2009/28/ЕС з використання відновлювальних джерел енергії від 23 квітня 2009 року.

References

1. Marcu Andrei, et al, "Border Carbon Adjustment in the EU: Indirect Emissions in the CBAM" European Roundtable on Climate Change and Sustainable Transition (ERCST) 05 July 2022 Online. Available at: <https://ercst.org/indirect-emissions-in-the-eu-cbam-2022/>

2. The European Union's Newest Tool to Tackle Carbon Leakage April 19, 2024 by Samuel Huestis/ Available at: <https://rmi.org/the-european-unions-newest-tool-to-TACABON>

3. Zhou, Y. (2023). Worldwide Carbon Neutrality Transition? Energy Efficiency, Renewable, Carbon Trading and Advanced Energy Policies. Energy Reviews, 100026. Journal Homepage: www.journals.elsevier.com/energy-reviews. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.enrev.2023.100026>

4. Luo, H., Yu, M., Zhai, C., An, Y., Wang, C., & Nishida, K. (2023). Study on Fermentation Gas Combustion with Hydrogen Addition of the Under Various Throttle Openings. Green Energy and Resources, 1 (1), 100003. <https://doi.org/10.1016/j.gerr.2022.100003>

5. Al-ali, H., ALI, D., & ATTEYA, A. I. (2023). Investigating the potential of renewable-Hydrogen Energy Systems Systems (Rhes) in Enabling Scotland's Farming Communities Net-Zero Transition and Sizing The Procead Rhestems. Green Energy and Environment Technology, 2.

6. Kwiatkowski, K., Krzysztoforski, J., Bajer, K., Dudyński, M. (2013). Bioenergy from Feathers Gasification - Efficiency and Performance Analysis. BIOMASS AND BIOENERGY, 59, 402-411. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2013.07.013>

7. Minx, J. C., Lamb, W. F., Callaghan, M. W., Bornmann, L., & Fuss, S. (2017). Fast Growing Research on Negative Emissions. Environmental Research Letters, 12 (3), 035007. DOI 10.1088/1748-9326/AA5EE5

8. The field of processing of by-products of poultry in fertilizer, feed and fuel: Pat. Ukraine for invention No. 126120, IPC A23N 17/00 (2016.01). statement. 15.07.2019, publ. 08/17/2022, Bul. № 33.
9. Method of destructive energy technological processing of biomass: Pat. Ukraine for invention No. 120684. IPC (2006) C10B 51/00 C10B 53/00, statement. 09.11.2018, publ. 10.01.2020, Bul. No. 1/2020
10. Baran BA Physico-chemical justification of the action of a magnetic field on water solutions for the development of technogen-ecological safety systems. - Manuscript. Dissertation for the degree of Doctor of Chemical Sciences in the specialty 21.06.01. Environmental safety. Khmelnytsky National University, Khmelnytsky, 2005.
11. Kronenderg, K.J. (1988). Verzuge der magnetischen vvaserhandlung, die neue arzliche /k.j. Kronenderg, 22 (35), 69-74.
12. Methods and Apparatus for Sold Carbonace of Materials Synthesis Gas Generation. RAT/ № USOO763807OB2, PUBL. 29.12.2009.
13. The method of multifaceted impulse-scattering support of burning of the stehiometric depleted fuel air-water-carbohydrate mixture: Pat. Ukraine for invention No. 125775. IPC H05H 1/24 (2006.01), C10K 3/06 (2006.01). 05.11.2020, publ. 01.06.2022, Bul. No. 22.
14. Eggleston, H.S, Buendia, L, Miwa, K., Ngara, T., Tanabe, K. (2006) 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. IPCC, Japan.
15. Zheng, Y., Gao, L., Dong, R., & He, S. (2022). Role of CCUS IN CARBON NEUTRAL POWER SYSTEM. Carbon Neutrality, 1 (1), 19. <https://doi.org/10.1007/s43979-022-00015-7>
16. Directive 2009/28/EC using renewable energy sources of 23 April 2009.

USE OF ELECTROTECHNOLOGY PROCESSING BIOMASS AND BURNING DEPLETED HYDROCARBON MIXTURES TO ENSURE CARBON NEUTRALITY

M. Zablodsky, S. Schvorov, V. Trokhanyak, A. Andrievsky, E. Koval

Abstract. *Proposed technological structures using electrotechnology for biomass processing and burn of depleted hydrocarbon mixtures to provide carbon neutrality. An innovative energy supply scheme is built in the system of processing of poultry products into fertilizers, feed and fuel. The identified parameters of emissions in experimental studies of the processes of burning of traditional fuel and fuel with the addition of activated water in the combustion chamber of combustion of internal combustion motors for the developed technological structure of the multi-ripening of the combustion of the burning of the stehiometric drying of the billow-depleted air-air-water. The proposed structure of the investment distribution distribution system between low carbon energy technologies, as well as an expression that can be evaluated by carbon emissions during biomass processing processes and burning of depleted hydrocarbon mixtures, taking into account the number of carbon emissions during collection, processing and transportation processes three -component fuel mixtures.*

Key words: *multifunctional electromechanical converter, rotary magnetic field, pyrolysis, combustible gas, biovur, multifaceted pulse discharges*