

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ІВАНО-ФРАНКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ НАФТИ І ГАЗУ**

БРИК ДМИТРО ВАСИЛЬОВИЧ

УДК 02.17:622.32+662.66/67/769.22

**ПІДВИЩЕННЯ РІВНЯ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ ПРИ
ТЕРМОХІМІЧНОМУ ПЕРЕРОБЛЕННІ НЕКОНДИЦІЙНОЇ
ВУГЛЕЦЕВМІСНОЇ СИРОВИНИ**

Спеціальність 21.06.01 – екологічна безпека

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
доктора технічних наук

Івано-Франківськ – 2021

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Інституті геології і геохімії горючих копалин
Національної академії наук України

Науковий консультант: доктор геолого-мінералогічних наук, професор,
академік Національної академії наук України
Павлюк Мирослав Іванович, Інститут геології і
геохімії горючих копалин Національної Академії наук
України, директор Інституту, м. Львів.

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Петрук Василь Григорович, Вінницький національний
технічний університет Міністерства освіти і науки
України, директор Інституту екологічної безпеки та
моніторингу довкілля, м. Вінниця;

доктор технічних наук, професор
Шмандій Володимир Михайлович, Кременчуцький
національний університет імені Михайла Остроградського
Міністерства освіти і науки України, завідувач кафедри
екологічної безпеки та організації природокористування,
м. Кременчук;

доктор технічних наук, професор
Полутренко Мирослава Степанівна, Івано-
Франківський національний технічний університет нафти і
газу Міністерства освіти і науки України, завідувач
кафедри хімії, м. Івано-Франківськ.

Захист відбудеться “12” травня 2021 р. об 11-00 год. на засіданні
спеціалізованої вченої ради Д 20.052.05 у Івано-Франківському
національному технічному університеті нафти і газу за адресою: 76019,
м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15.

З дисертацією можна ознайомитися у Івано-Франківському
національному технічному університеті нафти і газу за адресою: 76019,
м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15 та на сайті спеціалізованої вченої
ради Д 20.052.05 за електронною адресою:

[https://nung.edu.ua/departament/specializovana-vchena-rada-
d2005205/zakhist-disertaci](https://nung.edu.ua/departament/specializovana-vchena-rada-d2005205/zakhist-disertaci)

Автореферат розісланий “___” _____ 2021 р.

Учений секретар спеціалізованої
вченої ради Д 20.052.05, докт.
техн. наук , професор

Л.М. Архипова

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. В останні десятиліття глобальні зміни навколишнього природного середовища стали суттєвим стримуючим фактором розвитку суспільства, що потребує поглибленого аналізу та розроблення наукових підходів до зменшення негативного техногенного впливу на екологію. Концепція сталого розвитку передбачає гармонізацію соціальних, економічних та екологічних складових трансформації суспільства. В Україні екологічні ризики переважно спричинені промисловим сектором, у тому числі паливно-енергетичним комплексом. Наприклад, діяльність підприємств вугільної галузі призводить до значного територіального погіршення стану довкілля (повітря, водних ресурсів, ґрунтів).

Попри інтенсивне впровадження в Україні альтернативних та поновлювальних джерел енергії, збільшення видобутку вуглеводнів загалом і вугілля зокрема залишається пріоритетним напрямом соціально-економічного та енергетичного розвитку країни.

Зростання енергоспоживання спричинило тенденцію до економії енергетичних ресурсів і пошуку способів та технологічних рішень для підвищення ефективності використання первинних енергоносіїв, в тому числі некондиційних.

У зв'язку з імплементацією цілей сталого розвитку України виникає необхідність поглибленого дослідження однієї з основних сфер забезпечення сталого розвитку країни, а саме енергетичної сфери. Неспроможність енергетики задовільнити потреби суспільства та економіки в екологічно та економічно прийнятний спосіб ставить під загрозу можливість досягнення цілей сталого розвитку загалом.

Таким чином, для підвищення екологічної безпеки у контексті цілей сталого енергетичного розвитку України є **актуальними і мають практичне значення** проведення досліджень та розвиток наукових засад і створення нових екологічних (наземних та підземних) способів термохімічного перероблення некондиційної вуглецевмісної сировини.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційна робота виконувалась у відділі проблем геотехнології горючих копалин Інституту геології і геохімії горючих копалин Національної академії наук України (ІГГК НАН України) в рамках наукових напрямків, програм діяльності Інституту і завдань відділу: „Термодинамічні умови формування складу вуглеводневих систем в надрах Землі” , № ДР 0101U003268; „Розробити установку для термічної переробки вугілля Львівсько-Волинського вугільного басейну з метою отримання кам'яновугільної смоли”, № ДР 0101U003267; „Кінетика газифікації некондиційних вугільних пластів”, № ДР 0101U003269.; „Розробити ефективні методи та пристрої впливу на вугільний пласт з метою інтенсифікації вилучення метану”, № ДР 0101U003271; „Розробити технологію сумісного спалювання низькосортних твердих палив та метану вугільних родовищ ”, № ДР 0101U003270 ; „Геолого-технологічне обґрунтування вибору еталонних об'єктів (полігонів шахтних полів) з метою видобутку метану

вугільних родовищ Луганської області, № ДР 010411000167; „Теоретичні передумови пошуків вуглеводнів в Україні”, № ДР 0102U007276; „Розробка енергозберігаючих технологій переробки некондиційних вугільних пластів з подальшим отриманням синтетичних вуглеводнів (на прикладі Львівсько-Волинського басейну)”, № ДР 0104U006352; „Геохімічні особливості формування та геотехнологічні і екологічні проблеми використання карпатських менілітових сланців”, № ДР 0104U006351; „Розробка наукових основ енергетичного використання некондиційних горючих копалин” комплексної програми наукових досліджень НАН України „Стратегічні мінеральні ресурси України”, № ДР 0107U005730; „Розробка наукових основ отримання водню методом підземної газифікації некондиційних вугільних пластів Львівсько-Волинського басейну” в рамках цільової комплексної програми наукових досліджень НАН України „Фундаментальні проблеми водневої енергетики”, № ДР 0106U12315; „Вплив діяльності гірничо-видобувних підприємств на стан навколишнього середовища території України та Польщі в рамках цільової комплексної програми НАН України „Моніторинг навколишнього середовища і безпека України”, № ДР 0107U000156; „Розробка геотехнології підземної газифікації некондиційних вугільних пластів Львівсько-Волинського вугільного басейну” в рамках комплексної програми НАН України „Стратегічні мінеральні ресурси України”, № ДР 0110U004621; „Геологічні критерії придатності некондиційних вугільних пластів для підземної газифікації (на прикладі Львівсько-Волинського кам'яновугільного басейну)”, № ДР 0110U002591; „Термодинамічні умови утворення нафтоподібних систем в надрах Землі за співвідношенням стабільних ізотопів вуглецю в індивідуальних вуглеводнях”, № ДР 0113U002295; „Геоекологічні проблеми Заходу України (на прикладі території Львівської області)” № ДР 0112U000651; „Розроблення геотехнології одержання синтетичного газу із одночасною утилізацією галогеновмісних токсичних відходів у процесі газифікації вугілля (на прикладі Львівсько-Волинського кам'яновугільного басейну)” в рамках комплексної програми НАН України „Стратегічні мінеральні ресурси України” , № ДР 0113U001850, „Розроблення наукових підходів та сучасних технологій з підвищення регіональної енергоефективності на основі використання ресурсного потенціалу некондиційних горючих копалин Прикарпаття” в рамках цільової комплексної міждисциплінарної програми наукових досліджень НАН України з розроблення наукових засад раціонального використання природно-ресурсного потенціалу та сталого розвитку, № ДР 0115U001373, „Розроблення наукових засад технологій термохімічної переробки та енергетичного використання некондиційних вуглецевмісних горючих копалин (на прикладі західного регіону України)” № ДР 0116U003023; „Особливості геологічної будови земної кори заходу і півдня України та їх вплив на формування покладів корисних копалин” № ДР 0117U002212; „Геологічний моніторинг надзвичайних ситуацій території Червоноградського геолого-промислового району Львівсько-Волинського вугільного басейну” №ДР 0117U002214; „Дослідження особливостей геологічної будови земної кори західного регіону України у зв'язку із пошуками нафтогазових і метановугільних покладів” № ДР 0118U006517; „Розроблення

методу локалізації газових та газоконденсатних родовищ засобами рівноважної термодинаміки” №ДР 0119U000314; „Розробка технології вилучення та переробки смол напівкоксування сапропелітових відходів вуглевидобутку для потреб хімічної та енергетичної галузей”, в рамках програмно-цільової та конкурсної тематики НАН України, науково-технічні проекти установ НАН України 2019 року - № ДР 0119U101192; „Розроблення способу термічної переробки некондиційного вугілля Львівсько-Волинського кам'яновугільного басейну з метою одержання коксу та сировини для хімічної промисловості” в рамках програмно-цільової та конкурсної тематики НАН України, науково-технічні проекти установ НАН України 2020 року - №ДР 0120U100176; „Наукові підходи до сталого енергетичного розвитку Прикарпаття в умовах глобальних змін навколишнього середовища” в рамках цільової комплексної міждисциплінарної програми наукових досліджень НАН України з проблем сталого розвитку та раціонального природокористування в умовах глобальних змін навколишнього середовища на 2020–2024 рр. – № ДР 0120U103081.

Мета і завдання досліджень. Метою роботи є обґрунтування та розвиток наукових засад підвищення рівня екологічної безпеки при термохімічному переробленні некондиційної вуглецевмісної сировини у контексті цілей сталого розвитку України та змін навколишнього середовища.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

- провести аналіз цілей сталого розвитку України у сфері енергетики, управління ресурсами та змін навколишнього природного середовища;
- дослідити екологічні ризики та вплив на довкілля вугільних техногенних об'єктів;
- встановити ресурси некондиційної вуглецевмісної сировини та дослідити способи їх термохімічного перероблення;
- розвинути теоретичні засади екологічного термохімічного перероблення некондиційної вуглецевмісної сировини на основі моделювання процесів перетворення речовин у багатокомпонентних системах;
- провести стендові дослідження процесу газифікації високозольного сапропелітового вугілля і карпатських менілітових сланців;
- розробити і запатентувати екологічні способи термохімічного перероблення некондиційної вуглецевмісної сировини, зокрема відходів вуглевидобування і вуглезбагачення, некондиційних вугільних пластів та метану вугільних шахт і родовищ;
- провести аналіз екстракції вугілля, сланців, лігнітів та вугільних пеків, як можливої основи для створення екологічних процесів перероблення некондиційної вуглецевмісної сировини;
- дослідити екологічні та економічні аспекти впровадження підземної газифікації некондиційних вугільних пластів.

Об'єкт дослідження. Екологічна безпека при термохімічному переробленні некондиційної вуглецевмісної сировини у контексті цілей сталого розвитку України та змін навколишнього середовища.

Предмет дослідження. цілі сталого розвитку, вплив на довкілля вугільних техногенних об'єктів, способи перероблення некондиційної

вуглецевмісної сировини, теоретичні засади та експериментальні дослідження термохімічних процесів, розроблення екологічних способів перероблення, а також екологічні та економічні аспекти впровадження процесу газифікації.

Методи дослідження. При опрацюванні статистичних та літературних даних за темою дисертаційної роботи використовувалися такі методи, як критичний аналіз, порівняння та узагальнення. При розвитку теоретичних засад у роботі використані математичне моделювання фізико-хімічних процесів термохімічного перетворення вуглецевмісних сполук і методи рівноважної термодинаміки. Стендові дослідження ґрунтуються на фізичному моделюванні процесів з використанням методів аналітичної хімії – титриметрії, гравиметрії, класичного елементного аналізу органічних речовин та фізичних методів досліджень – рефрактометрії, спектрометрії, зокрема інфрачервоної спектроскопії, а також FTIR, УФ-спектрометрії, UV-Vis спектрометрії, фотоколориметрії та газовій хроматографії. Для хроматографії використано хроматограф ЛХМ-8МД та Неохром (NeoChrome) класу В, УФ- та UV-Vi спектри отримані на Shimadzu UVmini-1240, FTIR-спектри знімалися на Agilent ExoScan 4100. При проведенні хроматографічних аналізів використані стандартні методики, що описані у відповідних ISO, ГОСТ або ДСТУ.

Наукова новизна отриманих результатів. На підставі проведених комплексних досліджень одержано такі найважливіші наукові результати:

- вперше проведено аналіз цілей сталого розвитку України у сфері енергетики, управління ресурсами та змін навколишнього природного середовища і встановлено, що підвищення рівня екологічної безпеки є необхідною складовою енергетичної трансформації країни;

- вперше систематизовано та досліджено екологічні ризики та вплив на довкілля вугільних техногенних об'єктів на прикладі Червоноградського гірничо-промислового району Львівської області та виявлено, що найбільший негативний вплив на довкілля спричиняють емісія шахтного метану, відвали шахтної породи – терикони та відходи вуглезбагачення;

- встановлено ресурси некондиційної вуглецевмісної сировини та на основі аналізу способів термохімічного перероблення доведено, що процеси газифікації є найбільш придатними для підвищення рівня екологічної безпеки;

- розвинуто теоретичні засади термохімічного перероблення некондиційної вуглецевмісної сировини на основі моделювання процесів перетворення речовин у багатокомпонентних системах та обґрунтовано вибір оптимальних термобаричних умов для екологічної газифікації палива;

- на основі проведених стендових досліджень газифікації високозольного сапропелітового вугілля та карпатських менілітових сланців встановлено, що процес газифікації вугілля проходить стабільно у повному обсязі з отриманням цінних хімічних продуктів – смоли та горючого газу, а газифікація сланців нестабільна, проходить у неповному обсязі із затуханням;

- розроблено і запатентовано нові екологічні способи та пристрої для термохімічного перероблення некондиційної вуглецевмісної сировини, зокрема відходів вуглевидобування і вуглезбагачення, некондиційних вугільних пластів та метану вугільних шахт і родовищ;

- проведено аналіз екстракції некондиційної вуглецевмісної сировини (вугілля, сланців, лігнітів, вугільних пеків) та доведено перспективність екстракції для екологічного отримання цінних високомолекулярних вуглеводневих сполук;

- досліджено екологічні та економічні аспекти впровадження підземної газифікації некондиційних вугільних пластів та обґрунтовано конкурентоспроможність підземної газифікації для промислового використання.

Загалом, в дисертаційній роботі вперше обґрунтовано та розвинуто наукові засади підвищення екологічної безпеки при термохімічному переробленні некондиційної вуглецевмісної сировини у контексті цілей сталого розвитку України та змін навколишнього середовища.

Практичне значення отриманих результатів. Практичне значення отриманих в дисертаційній роботі результатів відображено у розроблених і впроваджених рекомендаціях та отриманих патентах.

Впроваджені рекомендації:

1. «Рекомендація по раціональному проведенню пошукових робіт на ділянках Тягівського та Любельського родовищ Львівсько-Волинського кам'яновугільного басейну з метою виділення вугільних пластів придатних для підземної газифікації з можливістю утилізації стійких органічних забруднювачів» (Львівська геологорозвідувальна експедиція ДП «Західукргеологія» НАК «Надра України» (акт впровадження від 01.10.2015), розроблена за результатами НДР «Розроблення геотехнології одержання синтетичного газу із одночасною утилізацією галогеновмісних токсичних відходів у процесі газифікації вугілля (на прикладі Львівсько-Волинського кам'яновугільного басейну».

2. «Рекомендація щодо переробки сапропелітового вугілля окремих шахт ДП «Львіввугілля» із вилученням первинних смол та горючого газу» (ДП «Львіввугілля», акт впровадження від 04.12.2018), розроблена за результатами НДР «Розробка технології вилучення та переробки смол напівкоксування сапропелітових відходів вуглевидобутку для потреб хімічної та енергетичної галузей» в рамках науково-технічних проектів установ НАН України 2019 року;

3. «Рекомендація стосовно підвищення енергоефективності господарського комплексу Прикарпаття (Львівська та Івано-Франківська області)» (акти про впровадження №1/І від 03.12.2019 і акт №1/Л від 03.12.2019), розроблена за результатами НДР «Розроблення наукових підходів та сучасних технологій з підвищення регіональної енергоефективності на основі використання ресурсного потенціалу некондиційних горючих копалин Прикарпаття» цільової комплексної міждисциплінарної програми наукових досліджень НАН України з розроблення наукових засад раціонального використання природно-ресурсного потенціалу та сталого розвитку (2015–2019 рр.);

4. «Рекомендації щодо робочих режимів та облаштування технологічної лінії переробки некондиційного вугілля шахт ДП "Львіввугілля» (ДП "Львіввугілля», акт про впровадження від 22.12.2020), розроблена за результатами НДР «Розроблення способу термічної переробки некондиційного вугілля Львівсько-Волинського кам'яновугільного басейну з метою одержання

коксу та сировини для хімічної промисловості» в рамках програмно-цільової та конкурсної тематики НАН України 2020 року.

Особистий внесок здобувача. Дисертаційна робота є самостійним завершеним дослідженням автора. Усі наведені в дисертації наукові результати, що виносяться на захист, отримані автором особисто. Особистий внесок автора у наукових публікаціях, що написані у співавторстві, зазначено у списку опублікованих праць.

Апробація результатів роботи. Основні результати дисертаційної роботи пройшли апробацію на Міжнародній конференції «Проблеми геології та нафтогазоносності Карпат» (м.Львів, Україна, 2006 р.); 11-й науковій конференції «Львівські хімічні читання» (м.Львів, Україна, 2007 р.); Третьей Санкт-Петербургской конференции ученых с международным участием «Современные проблемы науки о полимерах» (Санкт-Петербург, Россия, 2007 г.); 7th European coal conference (Lviv, Ukraine, 2008); 5th Saint-Petersburg Young Scientists Conference “Modern Problems of Polymer Science” (Saint-Petersburg, 2009); Міжнародній науково-технічній конференції «Сталий розвиток територій: енергія, вода, відходи, рекультивація» (м. Львів, Україна, 2011 р.); Міжнародній науковій конференції «Проблеми геології і геохімії горючих копалин» (м. Львів, Україна, 2011 р.), 8-й Міжнародній науково-практичній конференції «Нетрадиційні і поновлювальні джерела енергії в регіоні» (м. Львів, Україна, 2015 р.); Дев'ятій міжнар. наук.-практ. конф «Нетрадиційні та поновлювані джерела енергії як альтернативні первинні джерелам енергії в регіоні». (м. Львів, Україна, 6–7 квітня 2017р.), Шістнадцятій міжнар. наук.-практ. конф «Ресурси природних вод Карпатського регіону. Проблеми охорони та раціонального використання» (м. Львів, Україна, 25–26 травня 2017р.), Четвертій міжнар. наук.-практ. конф «Надрокористування в Україні. Перспективи інвестування». (м.Трускавець, Україна, 6–10 листопада 2017р.), 17th міжнар. наук.-практ. конф «Ресурси природних вод Карпатського регіону. Проблеми охорони та раціонального використання», (м. Львів, Україна, 24–25 травня 2018р.), Шостій міжнар. наук.-практ. конф. «Надрокористування в Україні. Перспективи інвестування», (м.Трускавець, Україна, 7-11 жовтня 2019), 10 міжнар. наук.-практ. конф. «Нетрадиційні і поновлювані джерела енергії як альтернативні первинним джерелам енергії в регіоні (м. Львів, Україна, 04-05 квітня 2019р.), 19-й Міжнар. наук.-практ. конф. Ресурси природних вод Карпатського регіону. Проблеми охорони та раціонального використання» (м. Львів, Україна, 04-05 жовтня 2020р.), Наук.-практ. конференції «Новітні проблеми геології», присвяченій В.П. Макридіну (Харків, Україна, 02–04 квітня 2020 р.), 9 наук.-практ. конфер. «Мінерально-сировинні багатства України: шляхи оптимального використання» (Львів, Хорошів, 2 жовтня 2020р.), Міжн. наук. конф. «Сучасні проблеми гірничої геології та геоекології» (Київ, Україна, 10–11 грудня 2020 р.).

Публікації за темою дисертаційної роботи. За темою дисертації опубліковано 68 праць, у тому числі 8 статей у закордонних наукових журналах, що входять до наукометричних баз даних, 28 публікації у наукових фахових виданнях України, 18 тез у матеріалах наукових конференцій, а також отримано

14 патентів України (2 деклараційні патенти на винахід та 12 патентів та корисну модель).

Структура та обсяг роботи. Дисертаційна робота складається з переліку умовних скорочень, вступу, 7 розділів, висновків, списку використаних літературних джерел з 484 найменувань. Загальний обсяг дисертації – 363 сторінок, з яких 272 сторінки основного тексту. Робота містить 44 таблиці, 35 рисунків та 4 додатки.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** обґрунтовано актуальність теми дисертаційної роботи, сформульовано мету і завдання досліджень, визначено наукову новизну і практичне значення отриманих результатів та викладено основні положення, що виносяться на захист. Також відображено особистий внесок здобувача, апробацію та публікацію основних результатів досліджень, описано структуру та обсяг роботи.

У **першому розділі «Екологічна безпека у контексті цілей сталого розвитку України та глобальних змін навколишнього середовища»** проведено аналіз цілей сталого розвитку України у сфері енергетики, управління ресурсами та змін навколишнього природного середовища та встановлено екологічні ризики та вплив на довкілля вугільних техногенних об'єктів.

Аналіз цілей сталого розвитку України ґрунтується на зіставленні орієнтирів, що були запропоновані Національною доповіддю «Цілі Сталого Розвитку: Україна» на період до 2030 р. і даних у Добровільному національному огляді щодо Цілей сталого розвитку (ЦСР) в Україні у сфері енергетики, управління ресурсами та змін навколишнього природного середовища. Відзначено, що для досягнення ЦСР в Україні необхідні підсилення та поглиблення трансформаційних процесів у таких вимірах.

Економічний вимір: посилення партнерства держави та бізнесу у сфері розвитку науки та впровадження інновацій, оновлення пріоритетів науково-технічної та інноваційної діяльності в інтересах ЦСР, впровадження засад (принципів) циркулярної економіки; реалізація інфраструктурних проєктів; зростання ступеня перероблення та продуктивності в аграрно-промисловому комплексі; здійснення структурних зрушень в економіці та промисловості шляхом диверсифікації, цифрової трансформації та ефективного управління ресурсами; створення на цій основі нових гідних робочих місць.

Соціальний вимір: послідовні реформи, що здійснюються Україною (реформи освіти, системи охорони здоров'я та децентралізації), мають підвищити рівень життя людей та зменшити нерівність у всіх її проявах. Першочерговими завданнями є зменшення багатовимірної бідності, зростання середньої тривалості життя та забезпечення якісної освіти як основи людського капіталу та запоруки сталого розвитку.

Екологічний вимір: зміни у екологічній політиці, розбудова системи управління відходами відповідно до європейських стандартів, припинення виснажливого використання земельних, лісових і водних ресурсів.

Досягнення визначених показників одних ЦСР спирається на результати імплементації певних інших ЦСР, що вимагає встановлення відповідної послідовності реалізації ЦСР. Так, досягнення більшості ЦСР ґрунтуються на ефективній екологічній енергетиці, що зумовлює актуальність проблематики екологічної безпеки в паливно-енергетичному комплексі України.

Негативні зміни навколишнього природного середовища в Україні за чинниками можна умовно розділити на зовнішні (глобальні, наприклад, потепління клімату) та внутрішні (локальні, наприклад, забруднення повітря, землі, води), що переплітаються, накладаються і можуть спричинити загрози соціально-економічному розвитку. Аналіз розподілу викидів забруднюючих речовин у Львівській області показав, що підвищення у десятки разів концентрації забруднень природного середовища спостерігається на промислових територіях і ділянках, де розташовані гірничо-видобувні підприємства та великі енергетичні об'єкти – місця видобування і збагачення вугілля, теплові електростанції тощо. Вказані закономірності є характерними і для інших промислових регіонів України. З одного боку, сталий розвиток неможливий без надійної енергетики, з іншого – деградація природного середовища внаслідок обмеженості природного потенціалу щодо асиміляції забруднень не може бути платою за таку енергетику і розвиток. Отже, необхідно підвищувати рівень екологічної безпеки при використанні паливно-енергетичних ресурсів.

Екологічні ризики та вплив на довкілля техногенних вугільних об'єктів розглянуто на прикладі Червоноградського гірничопромислового району (ЧГПР) Львівської області. На території ЧГПР маємо 14 породних відвалів шахт та відвал вуглезбагачувальної фабрики. Відвали займають різну площу – від 9–10 до 29–30 га. Висота відвалів сягає 62 м за переважних висот 25–40 м. Кут відкосу порід коливається в межах 37–45°, досягаючи в місцях зсувів та ерозії 70–80°. Така крутість схилів зумовлена вимогою мінімального відчуженням орних земель (площ основи) та насипанням порід у вигляді конусу. Загальна площа земельного відводу під терикони складає понад 1 тис. га. У відвалах діючих шахт ЧГПР зосереджено понад 20 млн. м³ відвальних порід, в тому числі із залишками вугіллям. При деяких шахтах існує 2-3 відвали – старші недіючі і діючий, які формувались починаючи з 50-60-их років минулого століття. Негативний вплив ЧГПР на довкілля полягає у: забрудненні повітря шахтним метаном та продуктами розпаду, тління/горіння породи териконів; відчуженні та ерозії земель і їх засміченні шахтними виробітками та відвалами, а також забрудненні поверхневих, приповерхневих та підземних вод, що призводить до деградації місцевої природної екосистеми та погіршення умов проживання людей.

Таким чином, у **першому розділі роботи**: вперше проведено аналіз цілей сталого розвитку України у сфері енергетики, управління ресурсами та змін навколишнього природного середовища і встановлено, що підвищення рівня екологічної безпеки є необхідною складовою енергетичної трансформації країни; вперше систематизовано та досліджено екологічні ризики та вплив на довкілля вугільних техногенних об'єктів на прикладі Червоноградського гірничопромислового району Львівської області та виявлено, що найбільший

негативний вплив на довкілля спричиняють емісія шахтного метану, відвали шахтної породи – терикони та відходи вуглезнабагачення.

У другому розділі «Некондиційна вуглецевмісна сировина та способи її термохімічного перероблення» встановлено ресурси некондиційної вуглецевмісної сировини та досліджено способи їх термохімічного перероблення.

Розглянуто світові тенденції використання первинних енергоресурсів, визначено ресурси некондиційної вуглецевмісної сировини в Україні та проведено огляд відомих способів їх термохімічного перероблення. Основна увага приділена наявним кондиційним і некондиційним вуглецевмісним горючим копалинам (вугілля, органовмісні сланці) та техногенній сировині (відходи вуглевидобутку та вуглезнабагачення, шахтний метан). Встановлено, що енергетичний потенціал некондиційної вуглецевмісної сировини в Україні співрозмірний з енергетичним потенціалом кондиційних горючих копалин та обґрунтовано доцільність залучення ресурсів некондиційних вуглецевмісних твердих горючих копалин і техногенної сировини у паливно-енергетичний баланс країни.

Наведено основні процеси термохімічного перероблення вуглецевмісних твердих горючих копалин (піроліз, гідрогенізація, газифікація, екстракція) для одержання енергетичних газів та хімічних продуктів з вуглецевмісної горючої сировини. Показано, що процеси газифікації є найбільш придатними для екологічного термохімічного перероблення різноманітних некондиційних вуглецевмісних горючих копалин та техногенної сировини.

Таким чином, **у другому розділі роботи** встановлено ресурси некондиційної вуглецевмісної сировини та на основі аналізу способів термохімічного перероблення доведено, що процеси газифікації є найбільш придатними для підвищення рівня екологічної безпеки.

У третьому розділі «Розвиток теоретичних засад екологічного термохімічного перероблення некондиційної вуглецевмісної сировини» розвинуто теоретичні засади екологічного термохімічного перероблення некондиційної вуглецевмісної сировини на основі моделювання процесів перетворення речовин у багатокомпонентних системах.

При розрахунку рівноважного компонентного складу газу газифікації в умовах термодинамічної рівноваги використано загальноприйняту методику складання системи термодинамічних рівнянь, яка базується на мінімізації ізобарно-ізотермічного потенціалу (енергії Гіббса G).

З другого закону термодинаміки випливає, що в стані термодинамічної рівноваги при заданих постійних значеннях внутрішньої енергії та об'єму системи ентропія досягає максимального значення, а внутрішня енергія при заданих ентропії та об'ємі V – мінімальної величини. Такі термодинамічні функції як ентальпія при заданій ентропії і тиску P , вільна енергія при постійній температурі і об'ємі V та ізобарно-ізотермічний потенціал Гіббса при заданих температурі T та тиску P в системі також досягають мінімального значення. На підставі принципу нормування мольних часток та закону збереження кількості атомів (молекул) у закритій системі можна скласти таку систему незалежних термодинамічних рівнянь

10

$$\sum_{j=1}^L \nu_j = 1, \quad (1)$$

$$N_k = \bar{N} \cdot \sum_{j=1}^L n_{kj} \cdot \nu_j, \quad (2)$$

де ν_j – мольна частка сполуки j в системі, $\bar{N}$ – загальна кількість молів в рівноважній системі, N_k – початкова кількість молів хімічного елементи k , L – кількість компонентів у системі, n_{kj} – кількість атомів (молекул) елементу k у сполуці j .

Термодинамічну активність чистого компонента можна визначити з відомого співвідношення

$$a_{T_j}^P = \exp \left\{ \frac{1}{RT} \int_{P_0}^P V(P, T) \cdot dP \right\}, \quad (3)$$

де $a_{T_k}^{*P}$ – парціальна активність елементи k , l – кількість елементів k в системі, $V(P, T)$ – мольний об'єм чистого компонента як функція тиску та температури в системі, коли початковий тиск $P_0=0,1$ МПа.

В роботі запропоновано узагальнене рівняння стану, яке описує залежність між інтенсивними параметрами системи (тиск, температура і об'єм).

Величину активності чистого компонента у формулі (3) знаходимо через аналітичну залежність об'єму від тиску:

Величину активності чистого компонента у формулі (3) знаходимо через аналітичну залежність об'єму від тиску:

$$\ln a_T^P = \frac{Z_C}{T_R} \int_{P_{0R}}^{P_R} V_R \cdot dP_R = \frac{Z_C}{T_R} \left[V_R \cdot P_R - V_{0R} \cdot P_{0R} - \int_{V_{0R}}^{V_R} P_R \cdot dV_R \right]. \quad (4)$$

Перевірку точності рівняння (4) було зроблено на прикладі розрахунку термодинамічної активності води у широких діапазонах тисків та температур. Аналіз результатів розрахунку засвідчив адекватність і надійність запропонованої залежності.

За складом вихідних реагентів з урахуванням термобаричних умов (T і P) проведення процесу визначено рівноважний склад газу газифікації, а також інші теплові характеристики, що дає надійне теоретичне підґрунтя для вибору оптимальних технологічних режимів для наземних і підземних газогенераторів.

Для обчислення теплофізичних характеристик синтезованого газу використано наступні залежності:

1) загальна теплота згорання газу Q (кДж/моль)

$$Q = -\bar{N} \left[\nu_{CO} (\Delta H_{CO_2} - \Delta H_{CO}) + \nu_{H_2} \Delta H_{H_2O} + \sum \nu_{C_n} H_m \left(\frac{m}{2} \Delta H_{H_2O} + \Delta H_{CO_2} - \Delta H_{C_n H_m} \right) \right]; \quad (5)$$

2) теплота реакції W визначається за значенням Q (кДж/моль)

$$W = \frac{Q}{N_0 \cdot N} \quad \text{або} \quad W = \frac{Q}{0,024 \cdot N}, \quad (6)$$

де $N_0=0,024 \text{ м}^3/\text{моль}$ – об'єм 1 моля газу при нормальних умовах4;

3) теплота згорання сухого газу Q_1 (кДж/моль)

$$Q_1 = \frac{Q}{1 - \nu_{H_2O}}; \quad (7)$$

4) теплотворність газу, очищеного від CO_2 та H_2O , Q_1 (кДж/моль)

$$Q_2 = \frac{Q}{1 - (\nu_{H_2O} + \nu_{CO_2})}; \quad (8)$$

5) вміст негорючого баласту N_6 (моль):

$$N_B = \overline{N} \cdot (\nu_{H_2O} + \nu_{CO_2} + \nu_{N_2}), \quad (9)$$

де ν_{H_2O} , ν_{CO_2} , ν_{N_2} – мольні частки H_2O , CO_2 , N_2 відповідно.

Обчислення складу і теплових характеристик газоподібної суміші, що отримується у процесі газифікації вуглецю, проводилися для систем, які перебувають у стані термодинамічної рівноваги та складаються з компонентів CO , CO_2 , H_2 , O_2 , H_2O , CH_4 .

З метою вибору ефективних газоподібних реагентів для підземної газифікації вугілля (ПГВ) у табл. 1 порівнюються основні показники процесів газифікації при тиску 0,1 МПа і температурі 1200 °С.

Порівняння даних (табл. 1) показує, що з наведених реагентів водно-киснева суміш має переваги перед іншими видами дуття за якістю енергетичної і хімічної сировини. Так, для $\text{O}_2:\text{H}_2\text{O}$ у мольному співвідношенні 1:1 витрати кисню на тону умовного палива (т у.п.) складають $\sim 800 \text{ м}^3$, а це майже у десять разів менше, ніж повітря; вихід цільового газу $\sim 4 \text{ м}^3/\text{м}^3$ реагента, так само у десять разів вищий за повітря, теплотворна здатність газу досягає $11,5 \text{ МДж}/\text{м}^3$.

Таблиця 1 – Загальна характеристика процесів газифікації вуглецю різними хімічними реагентами при температурі 1200 °С і тиску 0,1 МПа

№ п/п	Реагент	Теплота реакції, кДж/м ³	Граничний вихід синтез-газу в м ³ /м ³ реагенту		Граничний склад синтез-газу в мольних частках				Гранична калорійність синтез-газу, МДж/м ³
			Загальний	Горючих	CO	H ₂	CO ₂	N ₂	
1	Повітря	43,99	1,2	0,4	0,33	–	*	0,66	4,07
2	Повітря + H ₂ O	8,39	1,6	0,8	0,40	0,15	0,05	0,40	5,87
3	O ₂	217,88	2,0	2,0	0,98	–	0,02	–	11,72
4	O ₂ +H ₂ O	41,90	4,0	4,0	0,75	0,24	0,01	–	11,51
5	O ₂ +2H ₂ O	-67,04	3,0	3,0	0,66	0,34	*	–	11,32

* – з підвищенням тиску у складі синтез-газу з'являється метан і CO_2 , зі зниженням температури зростають CO_2 і H_2O .

Валовий вихід синтезованого газу при температурі синтезу $\sim 1100 \pm 100$ °С з підвищенням тиску до 0,8 МПа знижується незначно – до $3,8 \text{ м}^3/\text{м}^3$ кисню (при тиску 0,1 МПа він $\sim 4 \text{ м}^3/\text{м}^3$ кисню). Склад горючих компонентів при цих

температурах стабільний і за тиску 0,1 МПа прямує до (% об.): CO – 75, H_2 – 25. При тиску 12 МПа за температури 1100 °С вміст CH_4 – 3,1, CO – 47,7 і H_2 – 15,4 % при вмісті води 12,6 % об. Теплотворність газу становить від 12,15 МДж/м³ при $P=0,1$ МПа до 10,4 МДж/м³ при $P=12$ МПа.

Викладена методика узагальнює способи моделювання термодинамічного стану вуглецевмісних систем для розрахунку термобаричних параметрів індивідуальних речовин у широких межах тисків і температур, дозволяє аналізувати наземні і підземні процеси трансформації індивідуальних хімічних сполук при використанні різноманітних реагентів і характеризується універсальністю для реалізації конкретних екологічних технологій отримання синтетичного палива.

Визначення оптимальних режимів проведення ПГВ вимагає детального вивчення процесу переміщення ділянки горіння в умовах пористого середовища вугільного пласта.

Теплова потужність підземного вогнища горіння регулюється подачею реагенту в зону горіння. Для вирішення прикладних завдань необхідно знати параметри стаціонарної зони горіння, а саме: залежність температури, яка встановлюється після досягнення стаціонарного режиму, і тепловою потужністю зони горіння; швидкість вигорання пластового палива; кількість окиснювача, яку необхідно нагнітати у зону горіння.

Верхня межа теплової потужності підземного вогнища горіння обмежується законами кінетики процесу горіння. За цією межею збільшення витрат окиснювача неефективне, оскільки значна його частина буде проходити крізь зону горіння і не вступатиме у реакцію.

Розглянуто два випадки горіння: при температурі 873 К (600 °С) з утворенням CO_2 і при 1473 К (1200 °С) з утворенням CO . При умові повного використання кисню повітря у кількості 230:0,21=48 м³/год у першому випадку за годину вигорає 24 кг пластового вуглецю з загальним тепловиділенням 755 МДж/год, а у другому – 48 кг/год вугілля з загальним тепловиділенням 440 МДж/год. У той же час теплові втрати зони горіння при температурі 873 К складатимуть $q_l=4 \cdot (873 - 273) \cdot 293,3 \cdot \sqrt{6,14}=285$, а при 1473К – 570 МДж/год. У першому випадку (при згоранні палива до CO_2) втрати тепла значно менші від тепловиділення і початкові температури у зоні горіння 873К і 1473К будуть зростати. У другому випадку (при згорянні палива до CO) тепловтрати при температурі 1473 К більші від тепловиділення і початкова температура в зоні горіння буде знижуватися. У першому і другому випадках встановлюється свій стаціонарний тепловий режим з температурою 873К<T<1473К, який не збігається з очікуванням. Таким чином, стабільний температурний режим кільцевої підземної зони горіння буде визначатися у кінцевому випадку витратою кисню на 1 м потужності пласта.

Оскільки нас цікавить виробництво генераторного газу, зупинимось детальніше на режимі підземного процесу його одержання. Для стійкого перебігу процесу потрібна витрата повітря >800 м³/год на 1 м потужності пласта, що відповідає витраті кисню у кількості 170 м³/год на 1 м потужності пласта, і очікуваної можливості продукції горючого синтезованого газу CO у кількості 340

м³/год з 1 м пласта. Приблизне значення корисного тепловиділення при спалюванні цієї кількості газу складе $340 \cdot (2660 \cdot 4,19) = 3,8 \cdot 10^6$ кДж, а втрати - $340 \cdot (1080 \cdot 4,19) = 1,5 \cdot 10^6$ кДж. Тепловий ККД процесу дорівнюватиме 0,7.

Якщо у свердловину замість повітря нагнітати кисень (або повітря, яке значно збагачене киснем) то витрата реагента зменшується приблизно у 5 разів, що призведе до зниження тиску нагнітання, зменшення енергоємності процесу в цілому і до підвищення теплоти згорання синтезованого газу.

Оскільки співвідношення CO₂ до CO в продуктах газифікації при надлишку вуглецю, що має місце у вугільному або нафтовому пласті, не залежить від складу палива, то для вирішення поставленої задачі розглянуто найпростіші реакції окиснення вуглецю. Із закону діючих мас випливає

$$RT \ln \frac{v_{CO_2} \cdot a_{CO_2}}{v_{CO}^2 \cdot a_{CO}^2} = 2\Delta G_{CO} - \Delta G_{CO_2} \quad (10)$$

Значення ΔG_T^0 залежать тільки від температури і за довідниковими даними (в кал/моль O₂) рівні

$$\Delta G_{CO_2} = -94260 - 0,27 \cdot T, \quad \Delta G_{CO} = -26760 - 20,98 \cdot T \quad (11)$$

У випадку невисоких тисків, при яких суміш газів можна розглядати як ідеальний газ, співвідношення активностей компонентів відповідають приведеному тиску $P = p/p_0$ і з рівнянь (10, 11) отримуємо

$$T = \frac{20574}{21,01 - \ln P + \ln \frac{v_{CO}^2}{v_{CO_2}}} \quad (12)$$

Температура T визначається з рівняння (12), аналіз якого показує, що з ростом вмісту CO₂ температура процесу зростає, а з ростом CO – спадає.

Для обчислення реальних температур геотехнологічних процесів у пласті необхідно в газах на поверхні визначити мольні або об'ємні частки CO і CO₂, а також знати тиск в зоні синтезу.

Для визначення тиску за складом газів, отриманих на поверхні, розглянемо наступну реакцію



За аналогією з попередніми формулами для реакції (13) можемо записати

$$-RT\Delta G_{CH_4} = \ln \frac{a_{CH_4}}{a_{H_2}^2} - \ln \frac{v_{H_2}^2}{v_{CH_4}}, \quad (14)$$

де ізобарно-ізотермічний потенціал метану визначається за формулою (в кал/моль)

$$\Delta G_{CH_4} = -21120 + 25,7 \cdot T \quad (15)$$

Після перетворень для термодинамічних умов в пласті, як суміші ідеальних газів, отримуємо

$$T = \frac{14}{10627,7} \cdot \frac{12,93 - \ln P + \ln \frac{v_{H_2}^2}{v_{CH_4}}}{v_{CH_4}} \quad (16)$$

За результатами хімічних аналізів газу можна методом підбору визначити тиск і температуру у зоні синтезу в пласті за співвідношенням $\frac{v_{H_2}^2}{v_{CH_4}}$ з системи

рівнянь (12) і (16). Ці формули є достатньо точними для визначення термодинамічних умов при геотехнологічних процесах. Якщо тиск завідомо є невисоким, то з формул (12) і (16) можна визначити P і T аналітичним способом. Прирівнюючи (12) і (16), знаходимо значення тиску P

$$P = \frac{71,9381 \left(\frac{v_{CH_4}}{v_{H_2}^2} \right)^{2,07641}}{\left(\frac{v_{CO_2}}{v_{CO}^2} \right)^{1,07641}} \quad (17)$$

Підставляючи значення P у формули (12) або (16), отримуємо залежність для визначення температури T в зоні синтезу

$$T = \frac{9877,16}{8,04 + \ln \left(\frac{v_{CO_2}}{v_{CO}^2} \cdot \frac{v_{H_2}^2}{v_{CH_4}} \right)} \quad (18)$$

Таким чином, для розрахунку температури T і тиску P у геотехнологічному процесі необхідно визначити співвідношення газів $\frac{v_{CO_2}}{v_{CO}^2}$ і $\frac{v_{CH_4}}{v_{H_2}^2}$ на поверхні і за

формулами (17) і (18) обчислити P і T .

Наприклад, для процесу газифікації вугілля Львівсько-Волинського басейну у табл. 2 наведено склад отриманої газової суміші при температурі $T=1273$ К (1000°C) і тиску $P=0,22$ МПа.

Таблиця 2 – Відкорегований склад газової суміші процесу газифікації вугілля (у % за об'ємом)

Компоненти газу	Отриманий газ	Сухий газ	За мінусом піролізних газів
H ₂ O	4,00	–	–
N ₂	85,44	89,00	90,82
O ₂	1,92	2,00	2,04
CO ₂	2,48	2,58	2,63
CO	2,95	3,07	3,13
H ₂	2,54	2,65	2,70
CH ₄	0,68	0,71	0,72
C ₂ H ₆	0,019	0,02	–

Оскільки у процесі газифікації після зони синтезу відбувається піроліз вугілля від складу синтезованого газу треба відняти гази піролізу.

Підставляючи дані останньої колонки таблиці 2 у формули (18) і (17), знаходимо температуру і тиск для газогенераторної установки: $T=1174\text{ K}$, $P=0,24\text{ МПа}$, що дає похибку у визначенні температури $\pm 4\%$, а у визначенні тиску – $\pm 8,3\%$.

Запропонований непрямий метод визначення температури і тиску за складом газів, що виходять на поверхню, може успішно використовуватися в процесах підземної газифікації некондиційних твердих палив, підземного горіння нафтових пластів, а також спалювання вугільних териконів та вугілля у пластах залишених шахт.

Сумісне окислення (горіння) вугілля та метану - двофазних середовищ вирізняється низкою специфічних особливостей, які зумовлені протіканням хімічних реакцій в умовах динамічної і теплової взаємодії реагентів та інтенсивного масопереносу при фазових перетвореннях.

Істотні дані в цьому напрямку можуть бути отримані на основі послідовного застосування механіки гетерогенних систем до опису процесів горіння двофазних систем. Розрахунок проводився методом молекулярної динаміки (МД) з використанням стандартних атом-атомних потенціалів Ленард-Джонса. Базовим підходом у цьому методі використано квантово-хімічне наближення – метод нехтування двоатомним диференціальним перекриттям. Вибір цього методу зумовлений необхідністю розрахунку електронних характеристик та похідних фізико-хімічних особливостей перетворень у вибраній системі. Для вибраної моделі найменша тривалість окиснення усіх молекул метану та поверхневих атомів вуглецю, на яких розташувались хемisorбовані молекули кисню, становила близько 25 наносекунд. На основі МД-розрахунку встановлено, що температура однакової швидкості окиснення становить 763 K (табл. 3).

Оцінка цієї температури за допомогою простих рівнянь формальної кінетики склала 723 K, що добре узгоджується з отриманою МД-методом (763K). Показано, що зміну температури реакції можна визначати за співвідношенням концентрацій метану та кисню, зокрема збільшення концентрації кисню викликає зменшення температури однакової швидкості горіння метану і вугілля.

Таблиця 3 – Залежність швидкості перетворення метану V_m (молекули/пс) і вуглецевого кластера V_c (атоми/пс) від температури T та вплив співвідношення концентрацій метану і кисню $[CH_4]/[O_2]$ на температуру однакової швидкості горіння газу і вугілля $T(v_1=v_2)$

T, K	V_m	V_c	$[CH_4]/[O_2]$	$T(v_1=v_2), K$
473	25	13	1/1	723
573	28	18	2/1	793
673	32	25	3/1	755
763	33	33	1/2	704
773	35	34	1/3	693
873	36	40	1/4	685
1273	34	42	1/5	663

Молекулярно-динамічне моделювання дозволило встановити оптимальні термодинамічні параметри та співвідношення вихідних реагентів у процесі сумісного окиснення вугілля, у тому числі некондиційного, та метану вугільних родовищ.

У розділі також проаналізовано вплив домішок солей та оксидів металів різних концентрацій на співвідношення швидкостей окислення вуглецевого кластера і метану. Встановлено, що зі зростанням вмісту солі підвищуються швидкості взаємодії вуглецевого кластера з киснем. Внесення до складу кластера солей фосфату та борату зменшує цю швидкість, а збільшення їх концентрації сприяє відносному росту швидкості окиснення, як і у випадку хлоридів. Температура однакової швидкості реакції горіння вуглецю і метану при цьому росте і становить 1073 К.

Таким чином, у **третьому розділі роботи** розвинуто теоретичні засади термохімічного перероблення некондиційної вуглецевмісної сировини на основі моделювання процесів перетворення речовин у багатокомпонентних системах та обґрунтовано вибір оптимальних термобаричних умов для екологічної газифікації палива.

У **четвертому розділі «Експериментальне дослідження процесу екологічної газифікації вуглецевмісної сировини»** проведено стендові дослідження процесу газифікації високозольного сапропелітового вугілля і карпатських менілітових сланців.

На підставі розроблених у розділі 3 теоретичних засад термохімічного перероблення вуглецевмісної сировини і моделювання процесів трансформації індивідуальних хімічних сполук створена і захищена свідоцтвом на винахід стендова установка для експериментального дослідження термохімічної переробки твердого палива.

Вихідним матеріалом для проведення досліджень з газифікації було некондиційне сапропелітове вугілля Львівсько-Волинського басейну – пласта п₈^В Межиріченського родовища, яке можна віднести до класу кеннелів. Петрографічний склад наступний (% на безмінеральну речовину): вітриніт – 27,0; семівітриніт – 17,9; ліптиніт – 48,1; фюзиніт – 11,4.

Технічний аналіз досліджуваного вугілля (% за мас.), в середньому: W^a – 1,6; A^d – 44,8; S^d – 0,7; V^{daf} – 41,2; Q₈^{daf} – 34,6 МДж/кг. Елементний склад (%), в середньому: C – 75,9; H – 5,4; S – 1,03; N – 0,4; O – 17,27 (за різницею).

На стендовій установці було проведено низку експериментів з термохімічного перероблення сапропелітового вугілля на повітряному і водно-повітряному дутті. Загалом було проведено 15 експериментів, з них 6 на повітряному дутті, 8 – на водно-повітряному та водяному дутті (табл. 4) і один – пробний з використанням в якості дуття пероксиду водню. В результаті експериментів було прогазифіковано понад 2140 кг вугілля, отримано 1150 кг золи і більше як 222 кг смоли та відібрано для аналізу 74 проби генераторного газу. У верхній частині газогенератора створювалась реакційна (розігріта) зона і шляхом подачі дуття проводили газифікацію вугілля. При цьому потік гарячих газів, виходячи із цієї зони, поступово поширював нагрів вугілля, що було розташоване нижче. Це призводило до виділення з нього парів смоли та води, які

потім надходили до холодильника та сепаратора і конденсувалися. Разом з рідкою фазою підчас газифікації утворювався горючий газ з теплотворною здатністю близько $3,7 \text{ МДж/м}^3$. Аналіз результатів експериментів показав, що сапропелітове вугілля, не зважаючи на його високу зольність, є хорошою сировиною для термохімічного перероблення.

Таблиця 4 – Зведені результати газифікації сапропелітового вугілля водою

№ експ.	№ проби	Склад генераторного газу, % об.								Теплота згорання, МДж/м ³
		Негорючі компоненти			Горючі компоненти					
		N ₂	O ₂	CO ₂	CO	H ₂	CH ₄	C ₂ H ₆	Сума	
8	5	7,31	0,98	10,39	40,59	35,31	1,09	0,13	81,18	9,95
9	6	3,38	0,22	4,19	63,97	26,94	1,19	0,04	92,14	10,97
1	7	7,36	0,95	10,41	44,63	35,27	1,11	0,18	81,07	9,99
2	6	3,44	0,20	4,22	64,03	26,91	1,18	0,03	92,15	11,22
14	5	6,79	0,56	8,49	43,14	39,92	1,01	0,09	84,16	10,21
14	6	8,83	0,55	9,40	47,67	32,36	1,08	0,11	81,22	10,02
Середнє значення									83,65	10,39

У розділі також проаналізовано вихід та фізико-хімічні властивості смоли, що утворюється при газифікації сапропелітового вугілля, і процеси міграції мікроелементів.

Експериментальними дослідженнями процесу газифікації сапропелітового вугілля Львівсько-Волинського вугільного басейну встановлено, що теплота згорання отриманого газу становить на водяному реагенті $10,4 \text{ МДж/м}^3$ при виході кам'яновугільної смоли 11,2% мас., на водно-повітряному дутті – $4,94 \text{ МДж/м}^3$ і 11,9% мас., на повітряному дутті – $3,73 \text{ МДж/м}^3$ і 8,0% мас. відповідно ($T = 950\text{--}1100 \text{ }^\circ\text{C}$, $P = 0,2\text{--}0,25 \text{ МПа}$). Підтверджено, що при нижчих тиску і температурі у газогенераторі збільшується вихід кам'яновугільної смоли. В цілому проведені експерименти показали, що високозольне сапропелітове вугілля може використовуватися як сировина для екологічного термохімічного перероблення у підземних і наземних умовах.

Органічна речовина (органічна маса) карпатських менілітових сланців (КМС) – складний комплекс хімічно зв'язаних органічних і мінеральних речовин, який за елементним складом нагадує буре вугілля. Невелика частка органічної маси – це взаємопов'язані гумінові і бітумні речовини, які відносно легко екстрагуються органічними розчинниками чи лугами. Сумарний вміст цих речовин разом із сланцевою смолою складає 6–10% на органічну масу. Основну частину останньої – близько 90% становить сконденсована полімерна система, котру можна зруйнувати лише при високій температурі.

На стендовій установці було проведено 11 експериментів з газифікації КМС різних фракцій від 10 до 70 мм, з них 9 – на повітряному дутті (табл. 5), а також пробні: один на кисневому дутті і ще один – з використанням перексиду водню в якості газифікуючого агенту.

У шести експериментах (I етап) розпалювання сланцю і формування реакційної зони відбувалися у нижній частині реактора і процес газифікації (подача повітря) проводився знизу вгору. В решті п'яти експериментах розпал і подача повітря здійснювались, навпаки, зверху вниз (II етап), щоб запобігти

Таблиця 5 – Результати експериментів з газифікації карпатських менілітових сланців

№ експерименту	Параметри газифікації		Завантажено сланцю, кг	Вихід золи		Склад газу, % об.							Теплота згорання газу, МДж/м ³
	Середня температура, °С	Тиск дуття, МПа		кг	% мас. на сланець	Негорючі			Горючі				
						N ₂	O ₂	CO ₂	CO	H ₂	CH ₄	Сума	
І. Дуття – повітря, подача знизу вверх (І етап)													
1	820	0,15	52,5	41,3	78,7	80,68	3,49	6,61	2,37	6,67	0,16	9,22	1,33
2	890	0,14	45,0	32,5	72,2	81,48	1,61	4,71	4,22	7,16	0,07	11,50	1,40
3	960	0,12	48,3	39,3	81,3	86,39	1,81	3,21	6,30	2,27	сл.	8,60	1,03
4	900	0,12	76,4	63,8	83,5	80,89	3,84	5,27	4,76	4,10	1,04	9,99	1,44
5	850	0,22	63,5	51,0	80,3	85,41	2,24	6,71	3,46	1,30	0,80	5,65	0,87
6	810	0,18	71,0	62,5	88,0	87,62	1,49	4,07	1,28	1,81	0,66	6,81	0,97
ІІ. Дуття – повітря, подача зверху вниз (ІІ етап)													
7	770	0,20	198,0	172,5	87,1	93,75	3,66	7,45	2,89	1,90	0,19	5,09	0,72
8	910	0,21	210,5	174,0	82,7	87,31	1,86	4,16	2,83	3,01	0,76	6,65	1,07
9	760	0,19	207,5	175,5	84,6	86,08	3,51	7,40	1,65	1,63	сл.	3,01	0,37

згоранню смоли. Необхідною умовою для отримання якісного газу є створення в реакторі високотемпературної зони (900–1100 °С) достатнього об'єму, проходячи через яку кисень повітря міг би повністю прореагувати, і наступної за нею зони охолодження для запобігання конверсії утвореного газу.

При подачі повітря знизу (І етап) був отриманий газ відносно низької калорійності. Так, у пробах газу, відібраних протягом І етапу, був визначений наступний об'ємний склад синтезованого газу, %: водень від 1,3 до 7,1; метан до 1,0; етан від 0 до 0,1; оксид вуглецю від 1,2 до 6,3; діоксид вуглецю від 3,2 до 6,7; кисень від 1,6 до 3,8; азот від 80,9 до 87,6. Теплотворна здатність одержаного газу не перевищила 1,44 МДж/м³, складаючи в середньому 1,2 МДж/м³.

На етапі ІІ було одержано рідкі продукти (смоли), чого практично не отримували перед тим. Вихід смоли був незначним – близько 1 кг на 100 кг сланцю. Нижчою була також і калорійність газу.

В експерименті № 7 другого етапу була перевірена можливість попереднього розпалу сланцю у верхній частині реактора газовим пальником. Пальник працював стабільно протягом 1,5 год при температурі вихідних газів 1000 – 1050 °С. Після вимкнення пальника перейшли на проведення процесу газифікації менілітового сланцю. Приблизно через півгодини була досягнута максимальна температура на другій термопарі (T₂=1020 °С), що свідчило про створення фронту горіння сланцю. Подальше переміщення температурної хвилі по висоті реактора не було зафіксовано, процес газифікації почав згасати.

В наступних експериментах (№ 8, № 9) етапу ІІ вдалося створити переміщення зони горіння шляхом значного збільшення потужності нагріву верхньої частини сланцю. Створення попередньо нагрітої зони реакції довжиною близько 0,8 м дозволило (після відключення пальника і переходу на повітряне

дутья) прогазифікувати практично всю масу завантаженого сланцю. Щоправда, як показав експеримент № 7, навіть при незначній і короткочасній подачі води у реактор, не зважаючи на збільшення подачі повітря, процес швидко згасав. Тому подальші експерименти (№8, № 9) проводилися лише на повітряному дутті. В результаті був одержаний газ наступного об'ємного складу, % : оксид вуглецю - від 1,6 до 2,8; водень - від 1,6 до 3,0; метан - від 0 до 0,7; етан - до 0,1; діоксид вуглецю - від 4,1 до 7,4; азот - від 86,1 до 93,7; кисень - від 1,8 до 3,6.

Експериментальні дослідження процесу газифікації карпатських менілітових сланців, подрібнених до фракції 10–70 мм, при використанні різноманітних реагентів (повітря, водно-повітряної суміші, пероксиду водню, кисню) показали, що трансформація їх органічної складової у газоподібні продукти відбувається нестабільно, у неповному обсязі, у зв'язку з чим газифікація КМС не може бути рекомендована для промислового використання.

Таким чином, у **четвертому розділі роботи** на основі проведених стендових досліджень газифікації високозольного сапропелітового вугілля та карпатських менілітових сланців встановлено, що процес газифікації вугілля проходить стабільно у повному обсязі з отриманням цінних хімічних продуктів – смоли та горючого газу, а газифікація сланців нестабільна, проходить у неповному обсязі із затуханням.

У **п'ятому розділі «Екологічне термохімічне перероблення некондиційної вуглецевмісної сировини»** представлено розроблені і запатентовані екологічні способи термохімічного перероблення некондиційної вуглецевмісної сировини, зокрема відходів вуглевидобування і вуглезбагачення, некондиційних вугільних пластів та метану вугільних шахт і родовищ.

Одним з перших для *наземного перероблення* було запропоновано відносно нескладний спосіб газифікації твердих відходів вуглевидобування з високим вмістом сапропелітового вугілля (рис. 1), який реалізується таким чином.

Кушкове високозольне паливо подається з бункера 1 через завантажувальний пристрій 2 в газогенератор 4 до заповнення його на всю висоту. Щоб розігріти шар палива запалюється газовий пальник 6 або електронагрівач повітря. Після досягнення температури 650–670 °С на висоті 0,3–0, 5 м (рівень термопари T_1) пальник вимикається, і у газогенератор подається лише дуття для газифікації, наприклад, повітря, до досягнення температури у зоні газифікації 1100–1200 °С.

При досягненні температури нагріву палива 400–500 °С на рівні газоходу 5 починається повільне переміщення усього вугілля у печі шляхом поступового вивантаження золи за допомогою розвантажувального пристрою 7. Співвідношення між кількістю вивантаженої золи, витратами газифікованого дуття регулюється таким чином, щоб забезпечити підтримку температури піролізу на рівні газоходу 5 в межах 400–450 °С.

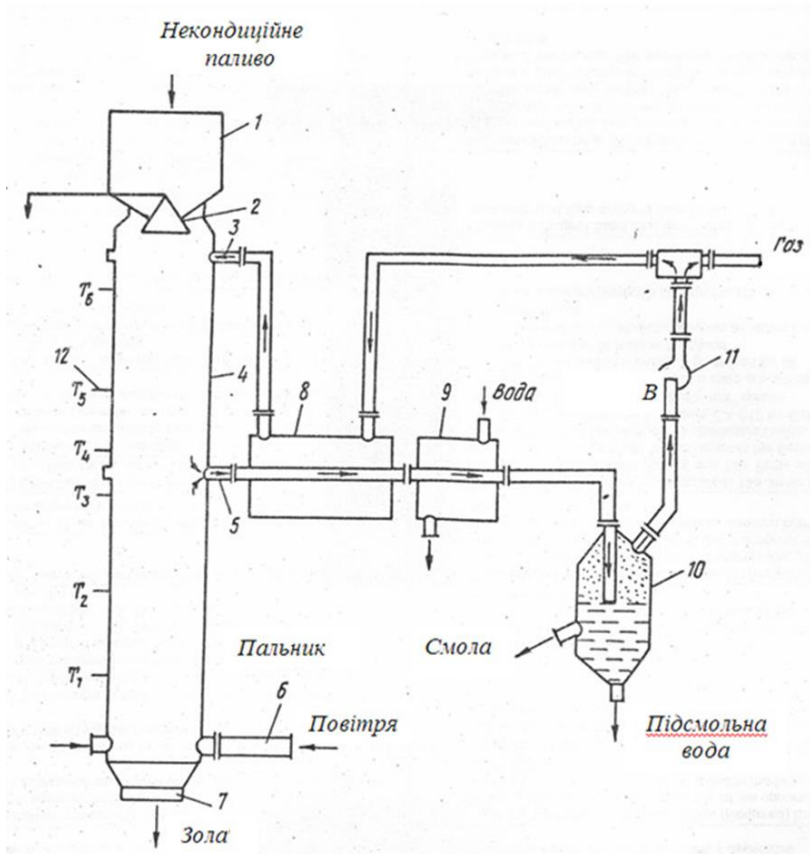


Рисунок 1 – Схема установки для термічного перероблення високозолистого палива: 1 – бункер, 2 – завантажувальний пристрій, 3 – газохід, 4 – газогенератор, 5 – газохід, 6 – пальник для розігріву палива, 7 – розвантажувальний пристрій для вивантаження золи, 8 – теплообмінник, 9 – холодильник, 10 – сепаратор, 11 – відсмоктувач газоподібних продуктів піролізу, 12 – термопари для вимірювання температури по висоті газогенератора

Для остаточного очищення, охолодження і виділення цінних продуктів гаряча парогазова суміш, що складається з парів води, смоли та газів, які утворились при згорянні коксу і при сушінні, відсмоктується через газохід 5 відсмоктувачем 11. При цьому частина охолодженого сухого газу із сепаратора 10 знову засмоктується через теплообмінник 8, де нагрівається до 300–325 °С за рахунок відбору фізичного тепла гарячої (400–450 °С) газопарової суміші і через газохід 3 подається у верхню частину газогенератора у холодне вихідне паливо (зону сушіння).

Після заповнення на всю висоту газогенератора, за допомогою пальника або електронагрівача повітря, у нижній його частині розігрівають шар палива

висотою 0,4 м до 650–670 °С. Потім палиник відмикають і у реактор знизу подають газифікуюче дуття, наприклад повітря, у кількості 30–40 м³/год до досягнення температури у зоні газифікації 1100–1200 °С. Зону горіння пересувають вгору доти, поки зона піролізу з температурою 400–450 °С не досягне газоходу для відбору парогазових продуктів.

Після виведення процесу на стаціонарний режим проводять відбір парогазових продуктів із зони піролізу шляхом їх відсмоктування, створюючи цим понижений тиск 0,06–0,1 МПа. Після цього з газогенератора видаляють зольний залишок, одночасно завантажуючи 20–25 кг/год вихідної сировини. Температуру 400–450 °С в зоні піролізу підтримують за допомогою регулювання дуття і швидкості опускання стовпа кускового палива.

Внаслідок термічного перероблення загальний вихід смоли піролізу з температурою 400–450 °С при тиску у газогенераторі 0,06 МПа становитиме близько 18% від ваги завантаженого вугілля або ~36 % на горючу масу при питомій масі смоли $\approx 0,883$ г/см³.

Розвиваючи екологічні способи перероблення для *наземних умов* в роботі також запропоновано: спосіб комплексного використання некондиційних вуглецевмісних масивів, який відрізняється сумісним переробленням вугільного пласта, вугільних блоків та одночасною утилізацією відходів вуглевидобування, а також пристроєм для дегазації вуглецевмісного техногенного масиву; спосіб комплексного двостадійного термохімічного перероблення вугільної пульпи та некондиційного вугілля, який відрізняється поетапним отриманням енергетичного газу та кам'яновугільної смоли; спосіб термохімічного перероблення рідких шламових відходів вуглезабагачення, який відрізняється підвищеною енергоефективністю процесу та якістю отриманого технологічного газу; трубчастий реактор для газифікації водно-вугільної пульпи, який відрізняється стабільністю складу отриманого енергетичного газу.

Для підземних умов запропоновано такі способи.

Спосіб *утилізації техногенних вугільних масивів* полягає в наступному. Тверді вуглисті відходи вуглевидобування закладають у виробітки відпрацьованих шахт. Разом з підземними вугільними блоками, що залишилися після шахтного видобутку вугілля, відходи утворюють гіпотетично “суцільний вугільний пласт”, який газифікують через свердловини, пробурені з поверхні землі для вилучення супутнього вугільного газу – метану.

Запалювання такого пласта та нагнітання в нього окиснювача проводять через дегазаційні свердловини, що були пробурені перед шахтним видобутком вугілля. Технологія буде ефективнішою при попередній дегазації вугільного пласта. Утилізація проходить в три етапи: 1) попередня дегазація вугільного пласта; 2) шахтний видобуток вугілля із складуванням вугільних відходів; 3) підземна газифікація некондиційних вугільних пластів та вугільних блоків відпрацьованих шахт разом з відходами вуглевидобування, які попередньо закладають у виробки.

Перевагами методу є неперервне одержання енергоносіїв через помасивне регулювання процесами. На першому етапі геотехнологічної розробки здійснюють свердловинну газифікацію (або спалювання) способом ПГВ.

Одночасно з розробленням терикону на другому етапі проводять утилізацію тепла частково вигазованого високотемпературного об'єму підземних вугільних масивів. Для цього через свердловину у цілик подають рідкі відходи вуглезбагачення – водно-вугільний шлам. На наступних етапах свердловинного розроблення некондиційних вугільних масивів реалізують відомі процеси, утилізуючи кінцевий продукт у наземному утилізаційному блоці. Таким чином, помасивна, почергова зміна процесів генерації газів та їх подальше використання, а також проведення наступної утилізації тепла вугільних об'єктів дозволяє безперервно отримувати додаткове джерело енергії.

Для *підвищення ефективності дегазації* техногенного масиву вугільних териконів, полігонів твердих побутових відходів (ТПВ), покладів торфу, а також у запропонованій технологічній схемі комплексної утилізації некондиційних вугільних об'єктів можуть знайти застосування розроблені та запатентовані свердловинні пристрої для дегазації як вугільних пластів, так і наземних відвальних техногенних масивів.

До *нових підземних способів перероблення* некондиційних вугільних пластів належать геотехнологія спалювання вугільних блоків відпрацьованих шахт, газифікація некондиційних вугільних пластів із зменшеним ризиком просідання земної поверхні, газифікації вугілля з поперемінним отриманням синтез-газу та енергетичного газу та газифікації вугільного пласта з одночасною утилізацією відходів вуглезбагачення.

Підземні вугільні блоки, які залишились після шахтного видобутку вугілля, а також розташовані поруч некондиційні вугільні пласти (тонкі, високозольні, засолені, непридатні до шахтного видобутку та ін.), доцільно розглядати як потенційне джерело отримання енергії. Процес спалювання вугільних блоків можна проводити як з гірничої виробітки, так і з поверхні через цільові свердловини.

На рис. 2 показана схема геотехнологічного способу підземного спалювання вугільного блоку.

Спосіб реалізують таким чином: на краю підземного вугільного блоку 1, по якому пройдена гірнична виробітка 2, на відстані, наприклад, 10 м від неї бурять у вугільний пласт з поверхні землі технологічну свердловину 3. На вибої свердловини 3 встановлюють відхилювач–напрямяч 4, який слугує для просування гнучкого термостійкого трубопроводу 5 у напрямку виробітки 2. Нижній кінець гнучкого трубопроводу 5 має наконечник 6 і перфоровані отвори 7 для радіального виходу повітря (окислювача).

Свердловинний спосіб розпалювання вугілля у пласті передбачає використання спеціального вибійного свердловинного вогневого теплогенератора, який слугує для початкового розпалу, наприклад, вугільного блоку, коли доступ до виробітки є неможливим.

Під час підземної газифікації вугілля (ПГВ) внаслідок випалювання вуглецю у вугільних пластах утворюються порожнини. В ці порожнини обвалюється покрівля вугільного пласта, що при невеликих глибинах залягання вугілля може призвести до просідання ґрунту на поверхні. Чим більша потужність вугільного пласта і вигазування, тим більший об'єм порожнин, а отже тим більші можливі руйнування (просідання) поверхні землі.

Щоб запобігти цьому негативному явищу пропонується газифікація некондиційного вугільного пласта з кальцієвою забутовкою, що значно зменшує просідання поверхні ґрунту (рис. 3).

Газифікація реалізують подачею через нагнітальну свердловину води (водяної пари) і меленого реагенту CaO .

Запускаючи нагнітальну свердловину її привибійну зону нагрівають потоком гарячої води або пари до температури $\sim 380^\circ\text{C}$. Після цього знижують витрати гарячого реагенту і через міжтрубний простір подають у свердловину кисень або повітря, збагачене киснем. Після запалювання вугільного пласта в потоці повітря поступово підвищують витрати водяної пари до проектного значення і шляхом регулювання витрат кисню (повітря) стабілізують робочу температуру в зоні реакції на рівні $\sim 900^\circ\text{C}$, що контролюється як безпосередньо вибійною термопарою, так і непрямым методом за складом газоподібних продуктів реакції. Кальцієва забутовка укріплює газифікаційні канали і зменшує просідання поверхні ґрунту.

Запропонована *свердловинна геотехнологічна схема* для отримання цільових газів шляхом попереминого розігріву вугільного пласта до температури газифікації ($900\text{--}1200^\circ\text{C}$) з наступним закачуванням водяної пари або води у розжарену зону вугілля, тобто процес полягає у почерговій зміні напрямків подачі двох реагентів газифікації – повітря для розігріву пласта в одному напрямку та водяної пари (води) у протилежному напрямку (рис. 4).

На вибої видобувної свердловини 5 запалюють вугільний пласт 1 і повітрям утворюють зону горіння 3, при цьому відводять газові продукти згорання через пласт у нагнітальну свердловину 6.

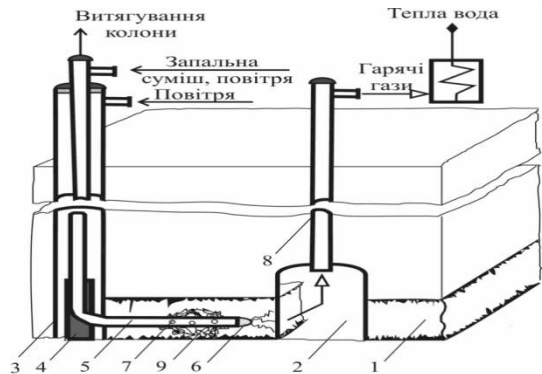


Рисунок 2 – Схема геотехнологічного способу спалювання підземного вугільного блоку відпрацьованої шахти:
1 – вугільний блок, 2 – гірничя виробітка,
3 – технологічна свердловина, 4 – відхилювач,
5 – трубопровід з наконечником 6 і перфорованими отворами 7, 8 – газовідвідна свердловина, 9 – зона горіння

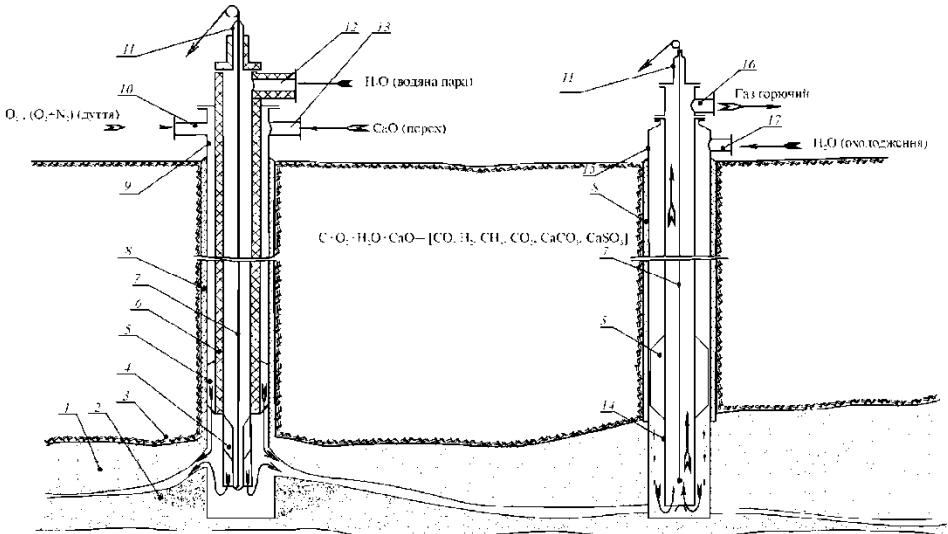


Рисунок 3 – Спосіб підземної газифікації некондиційного вугільного пласта з кальцієвою забутковкою: 1 – вугільний пласт; 2 – кальцієва забутковка; 3 – непроникна покрівля; 4 – башмак нагнітальної колони; 5 – ребра центратора; 6 – теплоізолювана колонна труба; 7 – термopapa; 8 – цементне кільце; 9 – обсадна колони нагнітальної свердловини; 10 – патрубок підводу повітря, кисню; 11 – лубрикатор; 12 – патрубок підводу основного реагенту – водяної пари; 13 – патрубок підводу наповнювача-вапна; 14 – видобувна свердловина-підйомний трубний ліфт; 15 – видобувна свердловина-обсадна колони; 16 – патрубок відбору продукції; 17 – патрубок періодичного закачування охолоджувальної води

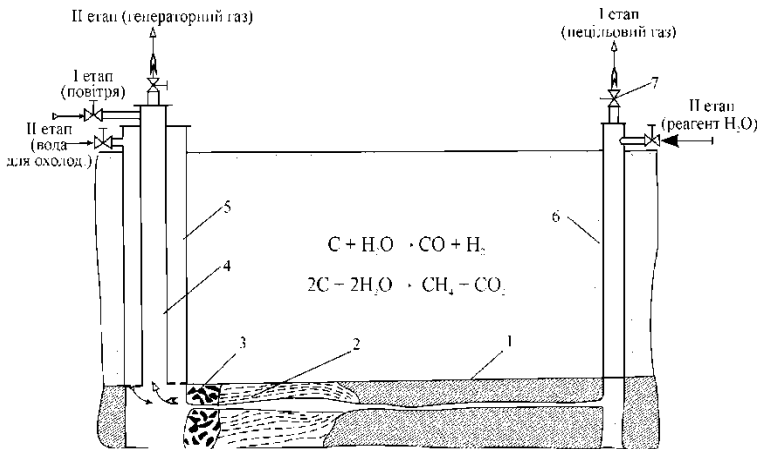


Рисунок 4 – Технологічна схема поперемінного процесу підземної газифікації вугілля: 1 – вугільний пласт; 2 – зони прогріву пласта; 3 – зона горіння; 4 – теплоізолювана труба; 5 – свердловина видобувна; 6 – свердловина нагнітання води (пари); 7 – вентиль

Після досягнення в зоні горіння температури близько 1100 °С подачу дуття припиняють. При проходженні через зону пласта 2 продукти згорання прогрівують її до температури піролізу. Далі, у другому півперіоді, з нагнітальної свердловини 6 подають газифікуючий реагент – водяну пару або воду (у напрямку, протилежному пересуванню зони горіння), де протікає реакція утворення синтез-газу за схемою $C + H_2O \rightarrow CO + H_2 + 131,3 \text{ кДж/моль } H_2O$. Гарячий синтезований газ подається на вибір свердловини 5. Воду або водяну пару, як реагент подають до моменту вичерпання запасів тепла у зоні газифікації пласта, що необхідне для перебігу реакції.

Газифікацію вугільного пласта можна проводити одночасно з утилізацією відходів вуглезабагачення. Введення дрібнодисперсного вуглецевого реагенту на вибір газовивідної свердловини призводить до його взаємодії з високотемпературним газом газифікації вугільного пласта, в результаті чого відбувається піроліз падаючого вуглецевого реагенту. При цьому зона відновлення перебуває безпосередньо у свердловині, а не у пласті. Схема взаємодії газу газифікації з вуглецевим реагентом представлена на рис. 5.

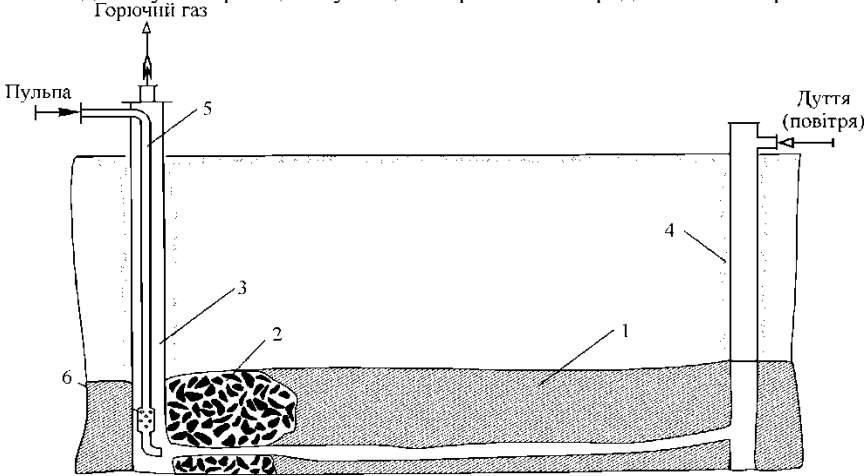


Рисунок 5 – Спосіб газифікації пласта з одночасною утилізацією вуглевмісних відходів: 1 – вугільний пласт; 2 – зона горіння; 3 – газовивідна свердловина; 4 – дуттєва свердловина; 5 – пульпопровід; 6 – розпилювальний пристрій

Підземний горючий газ, який утворився у пласті 1, надходить у газовивідну свердловину 3, де йому назустріч по пульпопроводу 5 через розпилювальний пристрій 6 на вибір свердловини 3 вприскується дрібнодисперсний вуглецевий реагент, наприклад, водно-вугільна суспензія. Тверді частинки вуглевмісної сировини рухаються назустріч гарячому потоку генераторного газу, який піднімається вверх по колонні труб, гальмується та виноситься до гирла свердловини.

Під час руху вугільна частинка проходить декілька зон взаємодії з генераторним газом: випаровування води і її нагріву до 100–300 °С, піролізу 300–

600 °С, з утворенням оксиду вуглецю, водню і вуглеводневих газів, коксового залишку 700–1000 °С.

У пластових умовах способи реалізують наступним чином: з поверхні на некондиційний вугільний пласт бурять дуттєві 4 та газовивідні (ГВ) 3 свердловини, з'єднують їх вибої по пласту відомими методами гідророзриву, формують вогнище горіння біля ГВ свердловини 3, подають дуття, наприклад повітря, у дуттєву свердловину 4 компресором, вводять вуглецевий реагент у ГВ свердловину 3 назустріч генераторному газу, що утворився в результаті газифікації пласта 1. У якості вуглецевого реагенту можна використати, наприклад, водно-вугільну суспензію (ВВС), що містить 50% води і тверді вугільні часточки до 0,2 мм.

Пропонована *геотехнологія інтенсифікації вилучення метану з вугільних шахт і родовищ* полягає у штучному підвищенні проникності привибійної зони дегазаційних свердловин.

Для існуючих дегазаційних свердловин, вибої яких закриті обсадними трубами, виникає потреба проведення гідроперфорації трубної колони на вибої і тоді процес дренажування пласта значно ускладнюється. Це спричиняє необхідність попереднього утворення в стінці обсадної труби отвору достатнього розміру для наступного введення зонду в пласт і утворення дегазаційного каналу гідророзмивання пласта. Крім того, обидві стадії процесу необхідно виконати за один спуск колони труб так, щоб зроблений отвір в обсадній колоні був навпроти вихідного кінця каналу відхилювача.

На рис. 6 зображено схему гідромонітору у режимі створення дегазаційного каналу у пласті. Свердловинний гідромонітор складається з відхилювача 1 з напрямною канавкою 2. Відхилювач 1 спущений всередину перфорованої обсадної колони 6 на колони труб 8. Всередину труб 8 на штангах 13 до посадкового гнізда 7 спускається контейнер 9 для

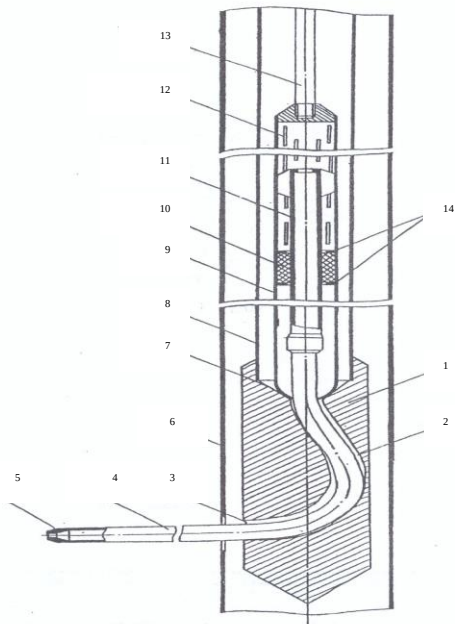


Рисунок 6 – Свердловинний гідромонітор для утворення каналів у вугільному пласті:

- 1 – відхилювач; 2 – напрямна канавка;
- 3 – вихідний отвір; 4 – гнучкий зонд; 5 – сопло;
- 6 – перфорована обсадна колона; 7 – посадкове гніздо; 8 – колона труб; 9 – контейнер;
- 10 – ущільнення; 11 – порожнистий плунжер;
- 12 – отвори; 13 – штанга; 14 – перегородка

висування зонду 4. Контейнер 9 висування зонду 4 належить до гідроприводів плунжерного типу, в яких можливість поздовжнього пересування зонду 4 з соплом 5 на кінці забезпечується наявністю порожнистого плунжера 11. Плунжер 11 герметизується ущільненням 10, яке встановлюється на перегородці 14 контейнера 9. До плунжера 11 в нижній його частині під'єднано гнучкий зонд 4.

Гідромонітор працює наступним чином. На вибій свердловини, обсадженої колоною 6, на трубах 8 спускають відхиловач 1, встановлюючи вихідний отвір 3 навпроти вугільного пласта у місці створення запланованого каналу. Після цього спускають контейнер 9 із встановленим у верхньому положенні плунжером 11 та зондом 4. Спуск ведуть до герметичної посадки нижнього кінця контейнера 9 у посадкове гніздо 7.

Після посадки контейнера 9 на гніздо 7 герметизують на гирлі порожнину колони 8 з штангою 13, виведеної з неї, та починають нагнітати робочу рідину в колону 8 під тиском 20–25 МПа. Робочою рідиною може бути технічна або пластова вода тощо.

Для утворення дегазаційного каналу в іншому напрямі переводять плунжер 11 та зонд 4 у початкове верхнє положення. Для утворення нового каналу відхиловач 1 переміщують у нове положення, обертаючи навколо осі колону 8. Конструкція пропонованого апарату дає змогу створити із однієї свердловини розгалужену мережу різноспрямованих каналів.

Таким чином, у **п'ятому розділі** розроблено і запатентовано нові екологічні способи та пристрої для термохімічного перероблення некондиційної вуглецевмісної сировини, а саме відходів вуглевидобування і вуглезбагачення, некондиційних вугільних пластів та метану вугільних шахт і родовищ.

У **шостому розділі «Екстракція як спосіб підвищення екологічної безпеки при термохімічному переробленні некондиційної вуглецевмісної сировини»** проведено аналіз екстракції вугілля, сланців, лігнітів та вугільних пеків, як можливої основи для створення екологічних процесів перероблення некондиційної вуглецевмісної сировини.

Один з напрямків одержання сировини для виробництва синтетичного рідкого палива (СРП) полягає у переведенні органічної частини вугілля у високомолекулярну смолу шляхом дії високоактивних розчинників, особливо в надкритичних умовах. Як активні реагенти можна використовувати луги чи кислоти, причому як сильні протонні кислоти, так і кислоти Люїса, а також органічні розчинники. Для одержання СРП також використовували і смоли, отримані під час напівкоксування вугілля, переважно бурого, і навіть сланців. Перспективним є зрідження вугілля в процесі високотемпературного нагрівання під тиском в органічному розчиннику або у воді у присутності лугів або основ, а також у розплавах солей з одночасним гідруванням або без нього.

Процес екстракції або зрідження вугілля в розчинниках визначається як самим проникненням (дифузією) рідини в структуру вугілля, що супроводжується його набряканням, так і взаємодією компонентів системи, яка у граничному випадку веде до деполімеризації вугілля. До останнього часу не було надійної теорії, яка пов'язувала б екстракційну чи розчинну здатність рідин (розчинників) з їх фізико-хімічними властивостями. Спроби кількісного

опрацювання зв'язку між фізико-хімічними властивостями екстрагентів та виходом екстракту донедавна були малоуспішними внаслідок складності самого процесу екстракції, який залежить від багатьох факторів. Ефективність їхньої дії залежить від їх будови, причому основними впливаючими факторами є як їх основність, так і особливості просторової будови.

Вугілля по суті є природнім полімером, отже розгляд процесів його взаємодії з рідинами можна вести аналогічно до більш вивченої взаємодії полімерів. Процеси набрякання твердих палив розглядали виключно на основі підходу Флорі-Ренера, базованого на теорії регулярних розчинів Гільдебранда. Цей же підхід був перенесений на процеси екстракції вугілля, згідно з яким максимальний ступінь набрякання субстрату чи вихід екстракту повинні досягатись при рівних або близьких значеннях параметрів розчинності полімеру δ_1 та розчинника δ_2 . Відповідно, при побудові залежностей ступеня набрякання чи виходу екстракту від δ_2 розчинників одержують параболічні дзвоноподібні криві з максимумом для розчинників, в яких $\delta_1 \approx \delta_2$. Проте в дійсності спостерігаються значні відхилення експериментальних значень від теоретичної кривої, а деякі результати взагалі з нею не узгоджуються.

Основною причиною таких неузгоджень слід вважати те, що теорія регулярних розчинів, приймаючи ентальпію змішування двох фаз рівною нулю, не враховує енергетичних ефектів сольватації, які виникають у набрякаючих системах – передусім ефектів специфічних взаємодій, що особливо важливо у випадку малометаморфізованого вугілля, яке вміщує численні активні хімічні групи.

Для вирішення поставленого завдання використано принцип лінійності вільних енергій (ЛІВЕ), згідно з яким зміна вільної енергії ΔG_p системи при взаємодії двох фаз, наприклад розчинення речовини, визначається лінійною сумою змін вільних енергій Δg_i , що відбуваються в різних взаємoneзалежних сольватаційних процесах

$$\Delta G = \sum \Delta g_i \quad (18)$$

Такий підхід виявився ефективним при узагальненні даних з констант розподілу неорганічних чи органічних речовин між двома фазами, а також для розчинностей газів. Він був також застосований для опрацювання даних з екстракції карпатських менілітових сланців за допомогою п'ятипараметрового рівняння

$$\lg K = a_0 + a_1 \frac{n^2 - 1}{n^2 + 2} + a_2 \frac{\varepsilon - 1}{2\varepsilon + 1} + a_3 B + a_4 E_T + a_5 \delta_H^2, \quad (19)$$

де K – умовна константа рівноваги процесу, за яку вважають відношення кількості одержаного екстракту до нерозчиненого органічного залишку; n і ε – відповідно показники заломлення світла та діелектрична проникливість розчинників, що визначають їх поляризованість та полярність; B – основність розчинників за Коппелем-Пальмом; E_T – електрофільність за Райхардтом, що характеризує специфічні взаємодії; δ_H^2 – квадрат параметра розчинності за

Гільдебрандом; a_i – коефіцієнти, які обчислюються на підставі узагальнення наявного масиву експериментальних даних.

Узагальнення за допомогою рівняння (19) дає лише відносно добрі результати для 20 розчинників (значення коефіцієнта множинної кореляції $R=0,790$), а після виключення найбільш неузгоджених даних для діоксану та тетрагідрофурану R стає рівним 0,822, що хоч прийнятно згідно з критерієм Фішера, але значно нижче значення $R \geq 0,95$.

Вдосконалення рівняння (19) полягає у його доповненні шостим членом, залежним від мольного об'єму розчинників V_M , оскільки чим більшими будуть розміри молекул розчинників, тим більш утрудненом буде їх проникнення у пори вугілля. Тому застосовану раніше умовну константу рівноваги K доцільно замінити кількістю молів розчинника S_M , поглинутого при набряканні 1 г вугілля або кількістю грамів екстракту, розчиненого в одному молі екстрагенту.

Для спрощення написання результуючої залежності два перші члени рівняння (19) позначимо

$$f(n^2) = \frac{n^2 - 1}{n^2 + 2}; \quad f(\varepsilon) = \frac{\varepsilon - 1}{2\varepsilon + 1}.$$

Тоді рівняння (19) набуває виду

$$\lg S_M = a_0 + a_1 f(n^2) + a_2 f(\varepsilon) + a_3 B + a_4 E_T + a_5 \delta^2 + a_6 V_M. \quad (20)$$

Рівняння (20) дало хороші результати при узагальненні даних Маєвського і співавторів з екстракції лігніту та бітумінозного сілеського вугілля 12 розчинниками в надкритичних умовах (400°C, 12МПа). У першому випадку $R=0,990$, в другому – $R=0,980$. Враховуючи, що першою стадією екстракції вугілля є його набрякання, перевірено можливість застосування рівняння (20) для узагальнення даних з набрякання різних твердих палив в органічних розчинниках (табл. 6), що дозволило одержати суттєво кращі результати.

Таким чином, у **шостому розділі** проведено аналіз екстракції некондиційної вуглецевмісної сировини (вугілля, сланців, лігнітів, вугільних пеків) та доведено перспективність екстракції для екологічного отримання цінних високомолекулярних вуглеводневих сполук.

У **сьомому розділі «Екологічні та економічні аспекти впровадження процесу підземної газифікації вугілля»** досліджено екологічні та економічні аспекти впровадження підземної газифікації некондиційних вугільних пластів.

Екологічні аспекти підземної газифікації вугілля розглянуто на прикладі Львівсько-Волинського басейну шляхом зіставлення екологічних ризиків забруднення природного середовища з шахтним способом розроблення покладів.

Для зменшення і запобігання негативних впливів процесу ПГВ на підземне геологічне середовище запропоновано такі заходи: розробити спеціальну конструкцію свердловин і технології буріння для унеможливлення перетоків пластових вод у затрубний простір колони цементний розчин за обсадною колоною необхідно піднімати до гирла свердловини; дотримуватися технічних режимів експлуатації нагнітальних і видобувних свердловин; запобігати просіданню земної поверхні над відпрацьованими ділянками вугільних покладів.

Проведений аналіз екологічних ризиків при застосуванні технології підземної газифікації вугілля показав, що порівно з шахтним методом видобутку кондиційного вугілля ризики забруднення родючого шару ґрунту – мінімальні, поверхневих і підземних вод – значно нижчі, атмосферного повітря – практично відсутні.

Таблиця 6 – Набрякання вугілля „Hebe”. Об’ємна частка вугілля в набряклому зразку θ , об’єм S_v і кількість молів S_M абсорбованого розчинника одиницею об’єму вугілля

№	Розчинник	θ	S_v	$S_M \cdot 10^3$		
				експеримент	розрахунок	ΔS_M
1	Циклогексан	0,47	1,128	10,411	8,095	-2,316
2	м - Ксилол	0,43	1,326	11,453	7,869	-3,584
3	Толуол	0,43	1,326	11,496	10,825	-0,671
4	Бензол	0,43	1,326	11,656	14,134	2,478
5	Хлороформ	0,43	1,326	11,625	15,085	3,460
6	Тетрахлорметан	0,67	0,642	6,636	10,927	4,291
7	Метилетилкетон	0,39	1,564	17,471	16,994	-0,477
8	Діоксан	0,35	1,857	21,471	19,529	-1,942
9	Нітробензол	0,36	1,778	17,389	16,053	-1,336
10	Ацетон	0,39	1,564	21,270	20,471	-0,799
11	Анілін	0,30	2,303	25,620	21,713	-3,907
12	Піридин	0,32	2,125	26,371	24,717	-1,654
13	Хінолін	0,36	1,778	15,042	20,446	5,404
14	Диметилформамід	0,33	2,030	26,232	27,887	1,655
15	n-Пропанол	0,33	2,030	27,344	26,485	-0,859
16	Етанол	0,36	1,778	30,279	31,971	1,692
17	Метанол	0,37	1,703	42,091	40,656	-1,435

Значення множинного коефіцієнта кореляції $R=0,961$, середньоквадратична похибка $S = \pm 2,538$.

Економічні аспекти підземної газифікації вугілля. Основну увагу приділено комплексу гірничо-геологічних і хіміко-технологічних критеріїв вибору вугільних пластів для їх підземної газифікації за показниками максимального виходу цільового газу з найвищою теплотою згорання, техніко-економічний оцінці технології підземної газифікації вугілля та екологічним аспектам її застосування.

Придатність вугільного родовища визначається на регіональному і локальному рівнях. При визначенні на регіональному рівні критеріями будуть: геологічний, структурний, хіміко-технологічний, а на локальному – структурний, петрографічний, хіміко-технологічний та геолого-гірничий.

На підставі аналізу різних технологій підземної газифікації вугілля та проведених стендових експериментів окреслені основні гірничо-геологічні і технологічні критерії, що сприяють розробці вугільних пластів способом підземної газифікації, а саме: а) марка вугілля (буре та кам’яне гумусове і сапропелітове); б) елементний склад вугілля (максимальний вміст летких, низька

ступінь метаморфізму); в) гірничо-геологічні умови залягання вугілля: глибина (100-700 м), товщина (більше 0,3м); г) властивості вугілля: зольність (5-40 %), сірчистість (менше 5 %), теплота згорання (7,0-28,0 МДж/кг), товщина пластичного шару (менше 12 мм), температура плавлення золи (1200–1400 °С); д) тріщинно-пориста структури вугілля і вмісних порід (екзогенна порушеність та ендегенні тріщини); е) літологічний склад покрівлі і підшви (аргіліти, алевроліти); є) гідрогеологічні умови (водопритік більше 3 м³/год); ж) тектонічні умови (значні тектонічні порушення, тріщинуватість).

Визначені за вказаними критеріями родовища та ділянки вугільних басейнів України, які придатні для підземної газифікації, наведено в табл. 7.

Таблиця 7 – Родовища та ділянки вугільних басейнів України, які придатні для підземної газифікації

Назва родовища, ділянки	Марка вугілля	Глибина залягання від – до, м	Потужність вугільного пласта від – до, м	Балансові запаси, млн.т
Донецький басейн				
Богданівське	Д	200 – 790	0,8 – 3,4	957,0
Петровське	Д	615 – 895	0,8 – 2,7	168,0
Всього по Донбасу:				1125,0
Дніпровський басейн				
Синельниківське	Б ₁ -Б ₂	10 – 135	2,0 – 15,0	226,0
Миронівське	Б ₁ -Б ₂	30 – 155	0,8 – 14,4	472,0
Ново-Олександрівське	Б ₂	60 – 170	2,0 - 16,0	203,0
Всього по Дніпробасу:				901,0
Дніпровсько-Донецька западина				
Ново-Дмитрівське	Б ₁ -Б ₂	65 – 550	0,6 – 16,3	390,0
Всього по ДДЗ:				390,0
Львівсько-Волинський басейн				
Сокальське	Г	280 – 400	0,5 – 1,3	41,3
Бубнівське	Г	200 – 300	0,5 – 0,7	13,3
Буське	К	270 – 320	0,4 – 0,8	5,1
Винники-Куликів	Г,Ж	400 – 500	0,5 – 0,9	68,5
Всього по Львівсько-Волинському басейну:				128,2
Разом (без врахування запасів «солонного вугілля» 11 млрд. т):				2544,2

Техніко-економічна оцінка впровадження підземної газифікації вугілля ґрунтується на розрахунку очікуваних виробничо-технічних і технологічних характеристик процесу та визначенні таких економічних показників, як вартість капітальних вкладень, поточні (експлуатаційні) видатки, собівартість отриманої продукції, термін окупності та інших.

Техніко-економічною оцінкою вартісних показників отримання горючих продуктів методом підземної газифікації вугілля встановлено, що оціночна собівартість генераторного газу в еквіваленті до природного газу становить 1932,0 грн за 1000 м³, а виробленої електроенергії – 0,638 грн за 1 кВт·год.

Таким чином, у **сьомому розділі** досліджено екологічні та економічні аспекти впровадження підземної газифікації некондиційних вугільних пластів та

обґрунтовано конкурентоспроможність підземної газифікації для промислового використання.

ВИСНОВКИ

На підставі представлених у дисертації комплексних досліджень та отриманих результатів можна зробити такі висновки.

1. Вперше проведено аналіз цілей сталого розвитку України у сфері енергетики, управління ресурсами та змін навколишнього природного середовища і встановлено, що підвищення рівня екологічної безпеки є необхідною складовою енергетичної трансформації країни. Відзначено важливість підсилення та поглиблення трансформаційних процесів сталого розвитку в економічному, соціальному та екологічному напрямках. Встановлено, що внутрішні чинники погіршення стану навколишнього середовища в Україні переважно пов'язані з гірничо-видобувною діяльністю та енергетикою – шахтним видобуванням вугілля, його збагаченням та використанням.

2. Вперше систематизовано та досліджено екологічні ризики та вплив на довкілля вугільних техногенних об'єктів на прикладі Червоноградського гірничопромислового району Львівської області та виявлено, що найбільший негативний вплив на довкілля спричиняють емісія шахтного метану, відвали шахтної породи – терикони та відходи вуглезбагачення;

3. Проведено аналіз структури споживання первинних енергетичних ресурсів у світі показав, що на протязі останніх десятиліть частка вугілля стабільно становить 25-30% і не виявляє тенденції до зменшення. Аналогічні закономірності спостерігаються і в Україні. Однак, через погіршення стану природного середовища у світі і в Україні виникає потреба підвищення рівня екологічної безпеки при використанні вуглецевмісних ресурсів та екологічної модернізації способів їх перероблення.

Показано, що запаси некондиційної вуглецевмісної сировини в Україні співмірні запасам кондиційного вуглецевмісного палива та можуть бути залучені до паливного балансу країни. На основі аналізу способів термохімічного перероблення доведено, що процеси газифікації, які дозволяють переробляти різноманітні некондиційні паливні ресурси у наземних та підземних умовах є найбільш придатними для підвищення рівня екологічної безпеки та екологічної модернізації вугільної галузі країни.

4. Розвинуто теоретичні засади термохімічного перероблення некондиційної вуглецевмісної сировини на основі моделювання процесів перетворення речовин у багатокомпонентних системах та обґрунтовано вибір оптимальних термобаричних умов для екологічної газифікації палива.

Встановлено, що серед реагентів, придатних для газифікації вуглецевмісної сировини у промислових масштабах саме водно-кисневий реагент у порівнянні з повітряним і кисневим має найкращі перспективи. Показано, що для такого реагенту з однаковим вмістом складових у мольному співвідношенні витрати кисню на тону умовного палива кінцевої продукції майже на порядок менші, ніж повітря, а вихід горючого газу на порядок більший.

Методами молекулярної динаміки встановлено, що зі зростанням вмісту хлориду натрію підвищуються швидкості взаємодії вуглецевого кластера з киснем, водночас введення солей фосфату та борату зменшує цю швидкість. Обчисленнями з використанням сучасних програмних комплексів виявлено, що молекулярно-динамічне моделювання дозволяє отримувати задовільні результати при дослідженні кінетики процесу сумісного окиснення вугілля і метану. Це дає змогу прогнозувати напрямки і швидкості хімічних реакцій та їх екологічний вплив на довкілля, а кластерна модель забезпечує прогнозування фізико-хімічних процесів та умов оптимізації важливих хімічних реакцій окиснення вугілля та метану.

5. На підставі розроблених теоретичних засад термохімічної переробки вуглецевмісної сировини і розрахунку параметрів процесів трансформації індивідуальних хімічних сполук створено лабораторну установку, на якій проведено експериментальні дослідження процесу газифікації високозольного сапропелітового вугілля та карпатських менілітових сланців при використанні різноманітних реагентів.

Експериментальне дослідження процесу газифікації сапропелітового вугілля Львівсько-Волинського вугільного басейну показало, що високозольне сапропелітове вугілля може використовуватися як сировина для термохімічної переробки у підземних і наземних умовах.

Експериментальні дослідження процесу газифікації карпатських менілітових сланців показали, що трансформація їх органічної складової у газоподібні продукти відбувається нестабільно, у неповному обсязі із затуханням, у зв'язку з чим газифікація карпатських менілітових сланців не може бути рекомендована для промислового використання.

6. Розроблено низку нових екологічних способів та пристроїв для термохімічного перероблення некондиційної вуглецевмісної сировини, зокрема відходів вуглевидобування і вуглезнабачення, некондиційних вугільних пластів та метану вугільних шахт і родовищ. Розроблені способи та пристрої захищено патентами України (2 деклараційних патенти на винахід, 12 патентів на корисну модель).

7. Проведено теоретичний аналіз способів екстракції лігнітів, вугілля різної стадії метаморфізму, карпатських менілітових сланців і вугільних пеків з застосування у процесах органічних та неорганічних розчинників. Показано, що методи екстракції та деполімеризації некондиційної вуглецевмісної сировини можуть бути покладені в основу нових екологічних технологій продукуванням екстракту з подальшим отриманням синтетичного рідкого палива.

8. Досліджено екологічні та економічні аспекти впровадження підземної газифікації некондиційних вугільних пластів та обґрунтовано конкурентоспроможність підземної газифікації для промислового використання.

Загалом, в дисертаційній роботі вперше обґрунтовано та розвинуто наукові засади підвищення екологічної безпеки при термохімічному переробленні некондиційної вуглецевмісної сировини у контексті цілей сталого розвитку України та змін навколишнього середовища.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Статті у виданнях, які входять до наукометричних баз даних

1. Брык Д. В., Макитра Р. Г., Пальчикова Е. Я. Математическое описание процесса экстракции углей растворителями. *Химия твёрдого топлива*. 2005. № 2. С. 9–15.

Особистий внесок здобувача: розроблення математичного опису процесу екстракції вугілля розчинниками.

2. Брык Д. В., Макитра Р. Г., Пальчикова Е. Я. Применение метода регрессионного анализа для обобщения данных по растворимости пеков. *Химия твёрдого топлива*. 2006. № 6. С. 26–37. *Особистий внесок здобувача: участь у проведенні розрахунків методом регресивного аналізу.*

3. Брык Д. В. Макитра Р. Г., Пальчикова Е. Я. Экстракция карпатских менилитовых сланцев органическими растворителями. *Журнал прикладной химии*. 2006. Т. 79. Вып. 7. С. 1106–1109. *Особистий внесок здобувача: участь у моделюванні екстракції карпатських менілітових сланців органічними розчинниками.*

4. Basylyak L. I., Bryk D. V., Makitra R. G., Prystansky R. Ye., Zaikow G. E.. Generalization of data concerning to the coal swelling in organic solvents and their extraction using the linear multiparametrik equations. *New Topics in Monomer and Polymer Research* / Eds. A. D'Amore, G. Zaikow. New York, NY: Nova Sciences Publishers. 2006. pp. 35–48. *Особистий внесок здобувача: узагальнення даних щодо набрякання вугілля в органічних розчинниках та їх вилучення за допомогою лінійних багатопараметричних рівнянь.*

5. Макитра Р. Г., Брык Д. В. Набухание лигнитов в органических растворителях. *Химия твердого топлива*. 2008. № 6. С. 19–25. *Особистий внесок здобувача: моделювання набрякання лігнітів в органічних розчинниках.*

6. Makitra R. G., Bryk D. V. Effect of the Nature of Solvents on the Swelling of Coals . *Solid Fuel Chemistry*. 2010. Vol. 44. № 3. P. 164–168 (Рос. аналог: Макитра Р. Г., Брык Д. В. Влияние природы растворителей на набухание углей. *Химия твёрдого топлива*, 2010. № 3. С. 626–630). *Особистий внесок здобувача: аналіз впливу різних розчинників на набрякання вугілля.*

7. Makitra R. G., Midyana G. G., Palchikova E. Ya., Bryk D. V. Interpretatioan of Swelling and Extraction Data of somes Coals by Linear Free Energy Redlationships. *Solid Fuel Chemistry*. 2010. Vol. 44. № 6. P. 407–413. (Рос. аналог: Макитра Р. Г., Мидяна Г. Г., Пальчикова Е. Я., Брык Д. В. Интерпретация данных по набуханию и экстракции некоторых углей на основании принципа линейности свободных энергий. *Химия твёрдого топлива*, 2010, № 6, С. 43–50. *Особистий внесок здобувача: використання принципу лінійності вільних енергій для моделювання екстракції вугілля.*

8. Макитра Р. Г., Мидяна Г. Г., Брык Д. В., Семенюк М. В. Процессы переработки углей в смеси с резиносодержащими отходами в жидкое топливо. *Химия твёрдого топлива*. 2013. № 3. С. 43–46. *Особистий внесок здобувача:*

запропоновано перероблення вугілля в суміші з гумовісними відпадами в синтетичне паливо.

Публікації у наукових фахових виданнях України

9. Брик Д. В., Іванців О. Є. Отримання метану з вугільних пластів шляхом їх газифікації водяною парою. *Геотехническая механика: сб. науч. тр.* Київ–Дніпропетровськ. 2000. Вип. 17. С. 91–94. *Особистий внесок здобувача: запропоновано спосіб газифікації водяною парою.*
10. Брик Д. В., Степанчиков А. Е., Стефаник Ю. В., Гвоздевич О. В. Извлечение метана угольных месторождений с использованием скважинного гидровруба. *Геотехническая механика: сб. науч. тр.* Днепропетровск, 2000. Вип. 17. С. 95–99. *Особистий внесок здобувача: участь у розробленні свердловинного гідровруба.*
11. Брик Д. В., Гвоздевич О. В., Стефаник Ю. В. Утилізація техногенних масивів геотехнологічними методами: деякі способи для отримання енергії. *Екологія і природокористування: зб. наук. пр.* 2003. Вип. 6. С. 116–120. *Особистий внесок здобувача: запропоновано геотехнологічні методи отримання енергії.*
12. Брик Д. В., Макітра Р. Г. Деякі екологічні аспекти процесу газифікації. *Екологія і природокористування: зб. наук. пр.* 2004. вип. 7. С. 117–119. *Особистий внесок здобувача: аналіз екологічних аспектів газифікації вугілля.*
13. Брик Д. В. Характеристика смоли, отриманої при моделюванні процесу підземної газифікації вугілля. *Углекимический журнал.* 2005. № 5–6. С. 45–49.
14. Брик Д. В., Павлюк М. І., Макітра Р. Г. Синтетичне паливо з вугілля – перспективний заміник нафти і природного газу. *Углекимический журнал.* 2006. № 3–4. С. 3–9. *Особистий внесок здобувача: обґрунтування отримання синтетичного палива з вугілля.*
15. Брик Д. В., Макітра Р. Г., Брик С. Д. Неенергетичне використання горючих сланців. *Углекимический журнал.* 2006. № 5–6. С. 72–75. *Особистий внесок здобувача: розроблення підходів до неенергетичне використання горючих сланців.*
16. Брик Д. В., Стефаник Ю. В., Хоха Ю. В., Любчак О. В. Теоретичні основи процесів вилучення паливно-енергетичних ресурсів з надр Землі. *Углекимический журнал.* 2007. № 3–4. С. 64–70. *Особистий внесок здобувача: участь в розрахунку геотехнологічних процесів.*
17. Брик Д. В., Стефаник Ю. В. Геотехнологія отримання синтез-газу ($\text{CO} + \text{H}_2$) та енергетичного газу ($\text{CH}_4 + \text{CO}_2$) способом підземної газифікації вугілля. *Углекимический журнал.* 2007. № 1–2. С. 49–54. *Особистий внесок здобувача: аналіз зони горіння у вугільному пласті.*
18. Стефаник Ю. В., Брик Д. В. Конвективна теплопровідна зона горіння у середовищі твердих горючих копалин. *Углекимический журнал.* 2008. № 3–4. С. 7–13. *Особистий внесок здобувача: Участь у розробленні геотехнології отримання синтез-газу.*
19. Стефаник Ю., Брик Д. Теоретичне визначення термодинамічних параметрів геотехнологічних процесів у вугіллі за складом отримуваних на поверхні газів. *Углекимический журнал.* 2008. № 3–4. С. 18–22. *Особистий внесок здобувача: участь у обґрунтуванні методів визначення термодинамічних параметрів.*

20. Макітра Р. Г., Брик Д. В. Деполімеризація вугілля під впливом лужних реагентів. *Углекимический журнал*. 2008. № 1–2. С. 49–54. *Особистий внесок здобувача: вибір реагентів для деполімеризації вугілля.*
21. Брик Д. В., Стефаник Ю. В. Умови стаціонарності процесу горіння вуглецевмісного середовища. *Углекимический журнал*. 2009. № 5–6. С. 26–30. *Особистий внесок здобувача: дослідження умов стаціонарності процесу горіння.*
22. Макітра Р. Г., Брик Д. В. Застосування рівнянь лінійності вільних енергій для узагальнення даних з процесів набрякання та екстракції вугілля в органічних розчинниках. *Углекимический журнал*. 2009. № 3–4. С. 30–33. *Особистий внесок здобувача: проведення розрахунків екстракції вугілля в органічних розчинниках.*
23. Брик Д. В., Стефаник Ю. В. Газифікація некондиційного вугілля Львівсько-Волинського басейну. *Углекимический журнал*. 2010. № 1–2. С. 20–32. *Особистий внесок здобувача: участь у стендових дослідженнях газифікації некондиційного вугілля.*
24. Брик Д. В., Стефаник Ю. В. Газифікація карпатських менілітових сланців на стендовій установці. *Углекимический журнал*. 2010. № 5–6. С. 68–76. *Особистий внесок здобувача: участь у стендових дослідженнях газифікації менілітових сланців.*
25. Брик Д. В., Павлюк М. І., Гвоздевич О. В. Геотехнологія дегазації метану вугільних пластів з використанням свердловинних гідромоніторів. *Уголь Украины*. 2010. № 11. С. 42–45. *Особистий внесок здобувача: участь у розробленні геотехнології дегазації вугільних пластів.*
26. Макітра Р. Г., Брик Д. В., Кальмук С. Д. Дія кислотних реагентів на вугілля. *Углекимический журнал*. 2010. №1–2. С. 11–15. *Особистий внесок здобувача: проведення розрахунків набухання вугілля в кислотних реагентах.*
27. Романюк О. І., Макітра Р. Г., Мідяна Г. Г., Брик Д. В. Використання відходів полімерів сумісно з вугіллям для одержання синтетичних рідких палив. *Углекимический журнал*. 2011. № 5–6. С. 56–61. *Особистий внесок здобувача: запропоновано екологічну утилізацію відходів полімерів.*
28. Стефаник Ю. В., Брик Д. В., Тенюк Т. О. Технологія підземної газифікації некондиційних вугільних пластів водяною парою та оксидом кальцію. *Углекимический журнал*. 2011. № 1–2. С. 55–59. *Особистий внесок здобувача: запропоновано використання оксиду кальцію для запобігання просідання земної поверхні при підземній газифікації вугілля.*
29. Макітра Р. Г., Брик Д. В., Кальмук С. Д. Дія органічних розчинників на вугілля. *Углекимический журнал*. 2011. № 3–4. С. 48–50. *Особистий внесок здобувача: дослідження взаємодії органічних розчинників та некондиційного вугілля.*
30. Брик Д. В., Гвоздевич О. В., Кульчицька-Жигайло Л. З. Геотехнологія спалювання вугільних блоків відпрацьованих шахт. *Углекимический журнал*. 2013. № 1–2. С. 73–78. *Особистий внесок здобувача: запропоновано спосіб спалювання вугільних блоків для отримання теплової енергії.*
31. Макітра Р. Г., Мідяна Г. Г., Брик Д. В. Перспективи одержання синтетичного рідкого палива шляхом сумісного піролізу вугілля з відпадками полімерів. *Углекимический журнал*. –№ 3–4. 2013. С. 84–87. *Особистий внесок здобувача:*

аналіз перспектив одержання рідкого палива при сумісному піролізі вугілля та полімерів.

32. Брик Д. В., Макітра Р. Г., Мідяна Г. Г., Пальчикова О. Я., Семенюк М. В. Ультразвукова екстракція вугілля органічними розчинниками. *Углекимический журнал*. 2013. № 1–2. С. 56–60. *Особистий внесок здобувача: запропоновано використання ультразвуку при екстракції вугілля.*

33. Брик Д. В., Подольський М. Р., Гвоздевич О. В. Фізико-технічне обґрунтування виробництва синтетичного палива з вугілля (на прикладі Львівсько-Волинського басейну). *Углекимический журнал*. 2014. № 3–4. С. 69–74. *Особистий внесок здобувача: запропоновано спосіб отримання рідкого палива з вугілля.*

34. Брик Д. В., Копилець В. І. Комп'ютерне моделювання сумісного окиснення вугілля і метану. *Углекимический журнал*. 2015. № 2. С. 12–16. *Особистий внесок здобувача: участь у моделюванні сумісного окиснення вугілля і метану.*

35. Хоха Ю. В., Брик Д. В. Напівкоксування сапропелітового вугілля окремих шахт Львівсько-Волинського кам'яновугільного басейну. *Вуглехімічний журнал*. 2019. № 5. С. 37–44. *Особистий внесок здобувача: участь у лабораторних дослідженнях перероблення сапропелітового вугілля.*

36. Хоха Ю. В., Брик Д. В. Визначення деяких якісних характеристик продуктів коксування шихт з сапропелітовим вугіллям. *Вуглехімічний журнал*, 2020, № 5, С. 4–9. *Особистий внесок здобувача: участь у випробуванні шихт з різним некондиційним вугіллям.*

Публікації, які засвідчують апробацію результатів дисертації

37. Стефаник Ю. В., Брик Д. В., Залозецький Л. С. Геотехнологія отримання “водяного” та енергетичного газу способом підземної газифікації вугілля. *Ресурси природних вод Карпатського регіону (Проблеми охорони та раціонального використання): зб. наук. статей VI міжн. наук.-практ. конфер. (Львів, 24-25 травня 2007)*. Львів, ЛьвЦНТЕІ, 2007. – С. 213-220.

38. Stefanyk Yu., Bryk D., Makitra R. Underground gasification of coal as a perspective way to get synthetic liquid fuel. *Abstracts of the 7th European coal conference*, Lviv, august 26–29, 2008. P. 116–117.

39. Bryk D., Makitra R., Kalmuk S. Dependence between extragents properties and the yield of extract from coal. *Abstracts of the 7th European coal conference*, Lviv, august 26 – 29, 2008. P. 20 – 21.

40. Павлюк М. І., Стефаник Ю. В., Брик Д. В., Хоха Ю. В., Любчак О. В. Спосіб підземної газифікації вугілля з використанням відходів вугільних шахт. *Сталий розвиток територій: енергія, вода, відходи, рекультивация: тези доп. міжн. наук.-техн. конф. (Львів-Рудно, 6–8 квітня 2011 р.)*, Львів, 2011. С. 241–244.

41. Романюк О. І., Макітра Р. Г., Мідяна Г. Г., Брик Д. В. Переробка відходів полімерів у хімічну сировину та паливо – один із шляхів вирішення екологічних та енергетичних проблем. *Сталий розвиток територій: енергія, вода, відходи, рекультивация: тези доп. міжн. наук.-техн. конф. (Львів-Рудно, 6–8 квітня 2011 р.)*, Львів, 2011.). С. 68-74.

42. Стефаник Ю., Брик Д. Геотехнологія підземної газифікації вугілля, що унеможливило просідання земної поверхні. *Проблеми геології і геохімії горючих копалин*: тези доп. міжн. наук. конф. (Львів 28-30 вересня 2011 р.). Львів, 2011. С.167–168.
43. Подольський М. Р., Гвоздевич О. В., Кульчицька-Жигайло Л. З., Брик Д. В., Бучинська А. В. Екологічні проблеми від видобування горючих копалин та техногенних об'єктів на території Львівської області. *Екологічні проблеми від діяльності гірничо-хімічних підприємств на території Львівської області*: матер. форуму (Львів, 04 грудня 2014 р.). Львів, 2014. С.7–16.
44. Брик Д. В. Некондиційні горючі копалини України та перспективи їх залучення для енергетичних потреб. *Нетрадиційні та поновлювані джерела енергії як альтернативні первинним джерелам енергії в регіоні*: зб. наук. ст. VIII міжнар. наук.-практ. конф. (Львів, 02–03 квітня 2015р.). Львів, ЛьДЦНП, 2015 р. С.9–13.
45. Брик Д. В., Гвоздевич О. В., Кальмук С. Д., Кульчицька-Жигайло Л. З. Використання шахтних вод у геотехнологічних процесах при підземній газифікації вугілля. *Ресурси природних вод Карпатського регіону. Проблеми охорони та раціонального використання*: зб. наук. ст.. XVI міжнар. наук.-практ. конф. (Львів, 25–26 травня 2017 р.). Львів, 2017 р. С. 202–206.
46. Подольський М. Р., Брик Д. В., Гвоздевич О. В., Кульчицька-Жигайло Л. З. Підвищення ефективності використання некондиційного вугілля родовищ Львівської області. *Нетрадиційні та поновлювані джерела енергії як альтернативні первинні джерела енергії в регіоні*: зб. наук. ст. IX міжнар. наук.-практ. конф. (Львів, 6–7 квітня 2017 р.). Львів, 2017р. С.77–80.
47. Кальмук С., Брик Д., Хоха Ю., Любчак О. Термодинамічне моделювання впливу газифікації вугілля в пласті на підземні води. *Ресурси природних вод Карпатського регіону. Проблеми охорони та раціонального використання*: зб. наук. ст. XVII міжнар. наук.-практ. конф. (Львів, 24–25 травня 2018 р.). Львів, 2018 р. С. 273–275.
48. Павлюк М. І., Хоха Ю. В., Брик Д. В., Яковенко М. Б. Сапропелітове вугілля заходу України як потенційне джерело енергетичної та хімічної сировини. *Надрокористування в Україні. Перспективи інвестування*: 6-та міжнар. наук.-практ. конф. (м. Трускавець, 8–10 жовтня 2019 р.). Київ, 2019. С. 307–311.
49. Подольський Мирослав, Брик Дмитро. До програми розвитку паливно-енергетичного комплексу Львівської області. *Нетрадиційні і поновлювані джерела енергії як альтернативні первинним джерелам енергії в регіоні*. зб. наук. ст. X міжнар.наук.-практ. конф. (Львів, 04-05 квітня 2019 р.). Львів, 2019 р. С. 263-265.
50. Подольський М., Кульчицька-Жигайло Л., Гвоздевич О., Брик Д. Загосподарювання ресурсами природних вод Карпатського регіону в контексті цілей сталого розвитку. *Ресурси природних вод Карпатського регіону. Проблеми охорони та раціонального використання*: зб. наук. ст. XIX міжнар. наук.-практ. конф. Львів, НУ "Львівська політехніка", 2020. ISBN 978-617-7809-50-9. С. 60–65.
51. Брик Д. В., Гвоздевич О. В., Кульчицька-Жигайло Л. З. Сапропелітове вугілля Львівсько-Волинського кам'яновугільного басейну як потенційна сировина для

вуглехімії. *Новітні проблеми геології*: матеріали наук.-практ. конф., присвяченої В. П. Макридіну (Харків, 02–04 квітня 2020 р.). Харків: Видавництво Іванченка І.С., 2020. ISBN 978-617-7879-13-7. С. 84–85.

52. Хоха Ю. В., Брик Д. В., Любчак О. В., Яковенко М. Б. Хіміко-технологічні властивості сапропелітового вугілля пласта п8 Львівсько-Волинського кам'яновугільного басейну. *Новітні проблеми геології*: матеріали наук.-практ. конф., присвяченої В.П. Макридіну (Харків, 02-04 квітня 2020 р.). Харків: Видавництво Іванченка І.С., 2020. ISBN 978-617-7879-13-7. С.115–117.

53. Хоха Ю. В., Брик Д. В., Павлюк Л. Ф., Яковенко М. Б., Любчак О. В. Використання сапропелітового вугілля Львівсько-Волинського кам'яновугільного басейну як компоненту шихти для коксохімічного виробництва. *Мінерально-сировинні багатства України: шляхи оптимального використання*: IX наук.-практ. конф. (Хорошів, 2 жовтня, 2020). 2020. С. 98–103.

54. Брик Д.В., Гвоздевич О.В., Кульчицька-Жигайло Л.З., Подольський М.Р. Способи переробки вуглевмісних порід вугільних відвалів. *Сучасні проблеми гірничої геології та геоecології*: зб. матер. міжнар. наук. конф. (Київ, 10 – 11 грудня 2020 р.). ДУ НЦ ГТГРІ НАН України, 2020. С. 98–101.

Патенти

55. Наливайко Я. М., Степанчиков О. О., Стефаник Ю. В., Брик Д. В., Гвоздевич О.В. Свердловинний гідромонітор: деклараційний патент на винахід UA № 37584 А МПК E21B 43/29 (2006.01); заявл. 05.01.2000; опубл 15.05.2001, Бюл. № 4.

56. Гвоздевич О. В., Стефаник Ю. В., Брик Д. В., Прокопенко Я. П., Горбаль Б. М. Пристрій для дегазації техногенного масиву: деклараційний патент на винахід UA № 57322 А МПК (2006) E21F 7/00; заявл. 12.08.2002; опубл 16.06.2003, Бюл. № 6.

57. Брик Д. В., Гвоздевич О. В., Подольський М. Р. Спосіб підземної газифікації вугілля для почергового отримання метану та синтез-газу: патент на корисну модель UA № 101723 МПК (2015.01) E21B 43/12 (2006.01), C10J 3/00. заявл. 10.04.2015; опубл. 25.09.2015, Бюл. № 18.

58. Брик Д. В. Спосіб підземної газифікації вугілля: патент на корисну модель UA № 102978 МПК (2015.01) E21B 43/00, C10J 3/00; заявл. 05.06.2015; опубл. 25.11.2015, Бюл. № 22.

59. Павлюк М. І., Брик Д. В., Гвоздевич О. В., Хоха Ю. В., Подольський М. Р., Любчак О. В., Кальмук С. Д. Спосіб підземної газифікації вугілля з одночасною утилізацією полівінілхлориду: патент на корисну модель UA № 104948 МПК (2016.01) E21B 43/295(2006.01), B09B 3/00, C10J 3/004 (2006.01); заявл. 14.09.2015; опубл. 25.02. 2016, Бюл. № 4.

60. Гвоздевич О. В., Павлюк М. І., Брик Д. В., Подольський М. Р., Бучинська А. В. Спосіб розробки вугільного пласта у процесі підземної газифікації вугілля: патент на корисну модель UA № 112138 МПК E21B 43/46(2006.01), E21B 43/295(2006.01), E21B 43/30(2006.01); заявл. 22/04/2016; опубл. 12.12. 2016, Бюл. № 23.

61. Гвоздевич О. В., Брик Д. В., Подольський М. Р., Бучинська А. В., Кульчицька-Жигайло Л. З. Спосіб термічного перероблення відходів вуглевидобутку: патент

на корисну модель UA №124857, МПК(2018.01) C10J3/00; заявл. 10.11.2017; опубл. 25.04.2018, Бюл. № 8.

62. Гвоздевич О. В., Брик Д. В., Подольський М.Р, Бучинська А.В., Кульчицька-Жигайло Л.З. Трубчатий реактор для газифікації вугільної пульпи: патент на корисну модель UA №122929, МПК F23B 90/06(2011.01), F02C 3/28 (2006.01); заявл. 09.10.2017; опубл. 25.01.2018, Бюл. № 2.

63. Гвоздевич О.В., Брик Д.В., Бучинська А. В., Подольський М. Р., Кульчицька-Жигайло Л. З. Трубчатий реактор газифікації некондиційних твердих горючих копалин: патент на корисну модель UA №129618, МПК F23B 90/06(2011.01), F02C 3/28 (2006.01); заявл. 06.04.2018; опубл. 12.11.2018, Бюл. № 21.

64. Гвоздевич О. В., Брик Д. В., Хоха Ю. В., Любчак О. В. Спосіб комплексної двостадійної наземної термохімічної переробки вугілля: патент на корисну модель UA №131556, МПК C10J 3/00, C10B 49/02 (2006.01); заявл. 11.06.2018; опубл. 25.01.2019, Бюл. № 2.

65. Хоха Ю. В.; Любчак О. В.; Гвоздевич О. В.; Брик Д. В., Яковенко М. Б., Подольський М. Р. Спосіб виділення ділянок земної кори, перспективних для пошуку газових та газоконденсатних родовищ: патент на корисну модель UA № 139515, МПК (2006): G01V 9/00; заявл. 07.06.2019; Опубл. 10.01.2020. Бюл. №1.

66. Хоха Ю. В.; Любчак О. В.; Гвоздевич О. В., Брик Д. В., Яковенко М. Б., Подольський М. Р. Спосіб циклічного одержання смоли напівкоксування сапропелітового вугілля в батарейній коксувальній пічці: патент на корисну модель UA № 140241, МПК (2006) C10J 3/00; заявл. 11.07.2019; опубл. 10.02.2020, Бюл. № 9.

67. Подольський М. Р., Гвоздевич О. В., Брик Д. В., Хоха Ю. В. Спосіб термічного перероблення вуглецевмісної сировини: патент на корисну модель України UA №141323, МПК (2006) C10J 3/00; заявл. 30.05.2019; опубл. 10.04.2020, Бюл. № 7.

68. Подольський М. Р., Гвоздевич О. В., Брик Д. В., Хоха Ю. В. Реактор для термічного перероблення вуглецевмісної сировини: патент на корисну модель UA № 144101, МПК (2006): C10J 3/00; заявл. 15.07.2019; опубл. 11.09.2020, Бюл. №17.

АНОТАЦІЯ

Брик Д. В. Підвищення рівня екологічної безпеки при термохімічному переробленні некондиційної вуглецевмісної сировини. - Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 21.06.01 «Екологічна безпека». – Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, Івано-Франківськ, 2021. Спеціалізована вчена рада Д 20.052.05.

Дисертаційну роботу присвячено обґрунтуванню та розвитку наукових засад підвищення екологічної безпеки при термохімічному переробленні некондиційної вуглецевмісної сировини у контексті цілей сталого розвитку України та змін навколишнього середовища, а також розробленню екологічних способів

отримання енергетичних газів та хімічних продуктів з некондиційного вугілля, відходів вуглевидобутку та вуглезбагачення у наземних та підземних умовах.

На основі дослідження цілей сталого розвитку України щодо енергетики, управління ресурсами та змін навколишнього природного середовища показано, що екологічна безпека у галузі енергетики є необхідною умовою для досягнення сталого соціально-економічного розвитку країни загалом.

В роботі на прикладі Червоноградського гірничопромислового району Львівської області досліджено та систематизовано екологічні ризики та вплив на довкілля вугільних техногенних об'єктів. Встановлено, що найбільший негативний вплив на довкілля спричиняють емісія шахтного метану, відвали шахтної породи – терикони та залишки вуглевидобутку і вуглезбагачення.

Наведений огляд відомих способів термохімічного перероблення вуглецевмісної сировини показав, що процес газифікації, який дозволяє переробляти різноманітні некондиційні паливні ресурси у наземних та підземних умовах є найбільш перспективним для підвищення рівня екологічної безпеки та екологічної модернізації вугільної галузі країни.

Розвиток теоретичних засад екологічного термохімічного перероблення некондиційної вуглецевмісної сировини охоплює визначення рівноважного складу та теплофізичних властивостей продуктів газифікації твердої вуглецевмісної сировини термодинамічним методом, моделювання процесу горіння твердого палива в умовах вугільного пласта, визначення термобаричних параметрів зони горіння вуглецевмісного масиву непрямым методом та моделювання процесу сумісного окиснення вугілля і метану.

На підставі розроблених теоретичних засад термохімічного перероблення вуглецевмісної сировини і розрахунку параметрів процесів трансформації індивідуальних хімічних сполук створено лабораторну установку, на якій проведено експериментальні дослідження процесу газифікації високозольного сапропелітового вугілля та карпатських менілітових сланців при використанні різноманітних реагентів і встановлено, що процес газифікації вугілля проходить стабільно у повному обсязі з отриманням цінних хімічних продуктів – смоли та горючого газу, а газифікація сланців нестабільна, проходить у неповному обсязі із затуханням.

Представлено десять розроблених та запатентованих нових способів та пристроїв термохімічного перероблення некондиційної вуглецевмісної сировини для використання в наземних і підземних умовах, які відрізняються енергоефективністю і екологічністю термохімічних процесів та якістю отримуваних продуктів.

Розглянуто і систематизовано фізико-хімічні способи отримання рідкої фази – екстракту з некондиційної вуглецевмісної сировини. Проведено теоретичний аналіз потенційних способів екстракції лігнітів, вугілля різної стадії метаморфізму, карпатських менілітових сланців і вугільних пеків за допомогою органічних та неорганічних розчинників. Показано, що методи екстракції та деполімеризації некондиційної вуглецевмісної сировини можуть бути покладені в основу нових екологічних технологій з подальшим отриманням синтетичного рідкого палива.

Проведений аналіз екологічних ризиків при застосуванні технології підземної газифікації вугілля показав, що, у порівнянні з шахтним методом видобування вугілля, ризики забруднення родючого шару ґрунту – мінімальні, поверхневих і підземних вод та атмосферного повітря – незначні.

На основі комплексу гірничо-геологічних і хіміко-технологічних критеріїв вибору вугільних пластів для застосування технології підземної газифікації досліджено вугільні басейни України. Показано, що потенціал покладів вугілля, придатного для підземної газифікації в Україні перевищує 2,5 млрд т.

Проведено техніко-економічну оцінку вартісних показників отримання горючих продуктів методом підземної газифікації вугілля, яка підтвердила економічність її реалізації.

Загалом в роботі обґрунтовано та розвинено наукові засади підвищення екологічної безпеки при термохімічному переробленні некондиційної вуглецевмісної сировини.

Ключові слова: екологічна безпека, некондиційна вуглецевмісна сировина, газифікація, термохімічне перероблення.

ABSTRACT

Bryk D. V. Improving the level of environmental safety in thermochemical processing of substandard carbon-containing raw materials. – Qualifying scientific work as a manuscript.

Thesis for the degree of doctor of technical sciences, specialty 21.06.01 “Ecological safety”. – Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas of the Ministry of Education and Science of Ukraine, Ivano-Frankivsk, 2021. Specialized Academic Council D 20.052.05.

The thesis paper deals with substantiation and development of scientific bases of increase of ecological safety at thermochemical processing of substandard carbonaceous raw materials in the context of the purposes of sustainable development of Ukraine and changes of environment, and also to development of ecological ways of reception of power gases and chemical products from substandard coal including onground and underground conditions.

Based on a study of Ukraine's sustainable development goals for energy, resource management and environmental change, it is shown that environmental security in the energy sector is a necessary condition for achieving sustainable socio-economic development of the country as a whole.

In the work on the example of Chervonohrad mining district of Lviv region the ecological risks and impact on the environment of coal technogenic objects are investigated and systematized. It has been established that the greatest negative impact on the environment is caused by the emission of mine methane, dumps of mine rock - heaps and residues of coal mining and coal beneficiation.

The review of known methods of thermochemical processing of carbonaceous raw materials showed that the gasification process, which allows to process various substandard fuel resources in terrestrial and underground conditions, is the most promising for improving environmental safety and environmental modernization of the country's coal industry.

Development of theoretical principles of ecological thermochemical processing of substandard carbonaceous raw materials includes determination of equilibrium composition and thermophysical properties of gasification products of solid carbonaceous raw materials by thermodynamic method, modeling of solid fuel combustion process in coal seam conditions, determination of thermobaric parameters. methane.

On the basis of the developed theoretical bases of thermochemical processing of carbon-containing raw materials and calculation of parameters of processes of transformation of individual chemical compounds the laboratory installation on which experimental researches of process of gasification of high-ash sapropelite coal and Carpathian menilitic shales volume with the receipt of valuable chemical products - resin and combustible gas, and shale gasification is unstable, is incomplete with attenuation.

Ten developed and patented new methods and devices of thermochemical processing of substandard carbon-containing raw materials for use in terrestrial and underground conditions, which differ in energy efficiency and environmental friendliness of thermochemical processes and the quality of the obtained products, are presented.

Physico-chemical methods of obtaining the liquid phase - extract from substandard carbon-containing raw materials are considered and systematized. Theoretical analysis of potential methods of extraction of lignites, coal of different stages of metamorphism, Carpathian menilitic shales and coal pitch by means of organic and inorganic solvents is carried out. It is shown that the methods of extraction and depolymerization of substandard carbonaceous raw materials can be the basis of new environmental technologies with the subsequent production of synthetic liquid fuel.

The analysis of environmental risks when using the technology of underground coal gasification showed that, in comparison with the mine method of coal mining, the risks of contamination of the fertile soil layer - minimal, surface and groundwater and air - are insignificant.

On the basis of a set of mining-geological and chemical-technological criteria for the selection of coal seams for the application of underground gasification technology, the coal basins of Ukraine have been studied. It is shown that the potential of coal deposits suitable for underground gasification in Ukraine exceeds 2,5 billion tons.

A technical and economic evaluation of the cost of obtaining combustible products by the method of underground gasification of coal, which confirmed the cost-effectiveness of its implementation.

In general, the paper substantiates and develops the scientific principles of improving environmental safety in thermochemical processing of substandard carbon-containing raw materials.

Key words: ecological safety, substandard carbonaceous raw materials, gasification, thermochemical processing.