

628.4(043)
В 16

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



ВАМБОЛЬ Віола Владиславівна

(043)
УДК 628.4 + 502.174
016

**НАУКОВІ ЗАСАДИ ЕКОЛОГІЧНО БЕЗПЕЧНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ УТИЛІЗАЦІЇ
ТВЕРДИХ ВУГЛЕЦЕВОВІСНИХ ВІДХОДІВ**

Спеціальність 21.06.01 – екологічна безпека

Автореферат

Дисертація на здобуття наукового ступеня
доктора технічних наук

Івано-Франківськ – 2016

Дисертація є рукописом.

Робота виконана в Кременчуцькому національному університеті імені Михайла Остроградського Міністерства освіти і науки України.



Науковий консультант:

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.

Офіційні опоненти

доктор технічних наук, професор **Мальований Мирослав Степанович**,
Національний університет «Львівська політехніка» Міністерства освіти і науки України, завідувач кафедри прикладної екології та збалансованого природокористування;

доктор технічних наук, професор **Азаров Сергій Іванович**,
Інститут ядерних досліджень Національної Академії Наук України, завідувач сектору загальної та радіаційної безпеки;

доктор технічних наук, професор **Пляцук Леонід Дмитрович**,
Сумський державний університет Міністерства освіти і науки України, завідувач кафедри прикладної екології.

Захист дисертації відбудеться « 27 » травня 2016 р. о 10 год. 30 хв. на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 20.052.05 у Івано-Франківському національному технічному університеті нафти і газу Міністерства освіти і науки України за адресою: 76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15, конференц-зал бібліотеки.

З дисертацією можна ознайомитись у науково-технічній бібліотеці Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу за адресою: 76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15.

Автореферат розісланий « 26 » квітня 2016 року.

Учений секретар спеціалізованої

вченої ради Д 20.052.05

В. Р. Хомин



an2571

1

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Поява нових технологій і матеріалів та зростання обсягів споживання призводить до появи і швидкого збільшення обсягів відходів, небезпечних для навколишнього природного середовища. Проблема відходів актуальна не тільки для України, але й для всього світу. В цей час ситуація з відходами є загрозовою для екологічної безпеки, а питання зменшення їх кількості та обмеження засмічення навколишнього середовища в Україні є надзвичайно гострими.

Процес накопичення відходів прогресує, все частіше виникають несанкціоновані звалища. Широке застосування пластиків і різних полімерних матеріалів у кольоровій металургії, хімічній і харчовій промисловості, будівництві, машино- і приладобудуванні, а також у виробництві товарів народного споживання призводить до зростання у відходах частки вуглецю і вуглецевовмісних сполук, що зумовлює збільшення кількості різних поллютантів, включно з супертоксичними, як діоксини й фурані. Вуглецевовмісні матеріали є основою багатьох видів відходів, у тому числі небезпечних.

Проблема утилізації відходів з класу небезпечних і особливо небезпечних також залишається гострою. За даними сайту Департаменту екології та природних ресурсів Харківської області у 2014 році, серед утворених відходів, відходи I і II класів небезпеки склали – 0,929 тис. тонн. У західних регіонах України за даними офіційних сайтів обласних державних адміністрацій на територіях Львівської та Івано-Франківської областей тільки у лікувально-профілактичних і оздоровчих установах щорічно утворюється більш ніж 50 тонн відходів, які заборонено складувати на полігонах.

Загалом в Україні щорічно утворюється 380..400 тис. тонн відходів, серед яких 100...120 тис. тонн небезпечні, що потребують негайної утилізації.

Ситуація з небезпечними відходами загострюється значним зростанням кількості несанкціонованих місць їх збирання. Темпи розкладання різних речовин в загальній масі відходів не однакові, тому і вплив окремих фракцій на утворення фільтрату є різним. Оскільки період часу від початку утворення звалища до початку проникнення фільтрату в ґрунтові води є невідомим, то на момент виявлення звалища негативні наслідки для навколишнього природного середовища від впливу фільтрату можуть бути значними. Тому такі об'єкти істотно знижують рівень екологічної безпеки і повинні бути ліквідовані якнайшвидше.

Відсутність на загальнодержавному рівні ефективної системи поводження з небезпечними відходами призводить до забруднення навколишнього природного середовища, розвитку різних захворювань у населення і, як наслідок, до зниження рівня екологічної безпеки. Таким чином, найбільш важливим і актуальним, з наукової точки зору, є розробка системи управління екологічною безпекою при утилізації твердих відходів зі вмістом вуглецю і вуглецевовмісних сполук з метою зменшення їхнього впливу на навколишнє природне середовище.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Тематика дисертаційної роботи відповідає пріоритетним напрямкам розвитку науки і техніки в Україні на період до 2020 р. з розділу «Раціональне природокористування» і

an 2570 - an 2571

стратегічним пріоритетним напрямом інноваційної діяльності в Україні на 2011 – 2021 рр. «Охорони навколишнього природного середовища».

Дисертаційну роботу виконано в рамках науково-дослідних робіт, які проводилися в Національному аерокосмічному університеті ім. М. С. Жуковського «ХАІ» відповідно до планів науково-дослідних робіт Міністерства освіти і науки України, а саме: ДР № 0100U002200 «Основи математичного моделювання і прогнозування безпеки техногенних об'єктів аерокосмічної техніки», ДР № 0106U001029 «Математичне моделювання етапів життєвого циклу аерокосмічних виробів та методика визначення чисельних критеріїв безпеки», ДР № 0106U001030 «Математичне моделювання процесів утилізації літальних апаратів та об'єктів спецтехніки», ДР № 0109U001391 «Моделювання процесів утилізації елементів літальних апаратів, ракетного палива, боеприпасів генераторами плазми з попереднім спалюванням», ДР № 0115U001221 «Розробка концепції створення технологічних систем збирання: базування, закріплення і з'єднання – транспортних засобів з використанням імпульсних ручних пристроїв. Розробка нових методів і засобів для утилізації відходів».

Результати роботи були частиною комплексних досліджень в рамках НДР, що проводяться в Національному аерокосмічному університеті ім. М. С. Жуковського «ХАІ» за темою «Розробка процесів утилізації літальних апаратів, об'єктів аерокосмічної та спеціальної техніки».

Мета і завдання дослідження. Метою роботи є розроблення компонентів системи управління екологічною безпекою при поводженні з твердими вуглецевмісними відходами, а також екологічно безпечної технології їх утилізації.

Для досягнення вказаної мети поставлені й вирішені такі завдання:

- створення методологічних основ дослідження і розроблення ефективних систем управління екологічною безпекою при утилізації відходів;
- аналіз сучасних наукових розробок для забезпечення екологічної безпеки в процесі утилізації та вторинної переробки твердих вуглецевмісних відходів;
- створення системи забезпечення оперативного виявлення місць несанкціонованого скупчення відходів та їх ідентифікації на основі аналізу матеріалів дистанційного зондування окремих ділянок земної поверхні;
- розробка загальної моделі технологічного процесу екологічно безпечної технології утилізації твердих вуглецевмісних відходів;
- розробка технологічних пристроїв й обладнання, що забезпечують процес утилізації твердих вуглецевмісних відходів;
- на основі чисельного моделювання оцінка можливості запобігання утворенню високотоксичних речовин при реалізації технологічного процесу утилізації твердих вуглецевмісних відходів;
- оцінка ефективності розробленої технології утилізації твердих вуглецевмісних відходів за енергетичними й економічними показниками.

Об'єкт дослідження – процеси екологічно безпечного поводження з твердими вуглецевмісними відходами.

Предмет дослідження – закономірності забезпечення екологічної безпеки при утилізації твердих вуглецевмісних відходів.

Методи дослідження: методологічна основа теоретичних досліджень базується на використанні системного науково-обґрунтованого аналізу систем управління екологічною безпекою.

При вирішенні завдань дослідження можливостей формування екологічно безпечного процесу утилізації твердих вуглецевмісних відходів застосовувалися теорія диференціальних рівнянь з частинними похідними і чисельне моделювання. Основою є безпосереднє застосування законів збереження маси і кількості руху у неоднорідному щодо компонентного і фазового складу середовищі, що включає генераторний газ, водяні краплі і водяну пару. Математичною формою запису законів збереження для вузького газу є рівняння Нав'є–Стокса, для крапель – рівняння балансу діючих на краплю сил, яка зрівноважує її інерцію з рівнодійною сил тяжіння і аеродинамічного опору.

При розробленні енерготехнологічної установки для поділу багатокомпонентних газових сумішей використовуються основні співвідношення термодинаміки, теплопередачі, тепломасообміну і гідрогазодинаміки, зокрема рівняння стану Пенга–Робінсона для опису коефіцієнтів теплофізичних властивостей робочих тіл. Загальні рівняння теплопровідності використовувалися для визначення теплового потоку при розрахунку елементів конструкції технологічної установки.

В експериментальних дослідженнях використовувалися сучасні методи визначення компонентного складу сировини, продуктів технологічного процесу, складу генераторного газу.

Для дослідження засобів управління екологічною безпекою використовувалися методи фізичного моделювання від дослідних зразків до діючих макетів і установок.

Наукова новизна одержаних автором результатів:

1. Вперше науково обґрунтовано використання екологічно безпечної технології утилізації відходів і засобів для її реалізації, що дає можливість запропонувати конкретні технічні рішення для управління екологічною безпекою.

2. Вперше створено наукові засади застосування технічних пристроїв і систем для охолодження відхідних газів, використання яких запобігає повторному формуванню високотоксичних речовин і тим самим сприяє забезпеченню екологічної безпеки.

3. Отримав подальший розвиток науковий підхід до створення системи оперативного виявлення місць несанкціонованого скупчення відходів на основі використання даних дистанційного зондування Землі й геоінформаційних технологій у поєднанні з методами математичного моделювання в частині виділення вуглецевмісної складової відходів, що надає можливість підвищити ефективність проведення екологічного моніторингу.

4. Отримали подальший розвиток наукові основи створення ефективних екологічно безпечних технологій утилізації твердих вуглецевмісних відходів та засобів для її реалізації, які на відміну від існуючих, не тільки дозволяють використовувати одержаний енергоносіє для підтримання процесу утилізації, а й враховують добову і сезонну нерівномірність споживання енергії та надають можливість виробляти метановмісний енергоносіє, придатний для зберігання.

5. Удосконалено наукові підходи до створення моделі автоматизованої системи контролю й управління технологічним процесом шляхом введення додаткових параметрів контролю, що дозволяє здійснювати моніторинг всіх етапів процесу утилізації відходів і забезпечує можливість її інтегрування у загальну систему забезпечення екологічної безпеки.

Практичне значення отриманих результатів:

– застосування розробленої системи оперативного виявлення місць несанкціонованого накопичення відходів дозволяє визначати характер відходів і динаміку розвитку звалища;

– використання в реальних умовах розробленої технологічної установки для утилізації твердих вуглецевмісних відходів дозволяє на практиці реалізувати запропоновану технологію з метою забезпечення екологічної безпеки;

– запропонований автоматизований програмно-апаратний комплекс дозволяє в інтерактивному режимі здійснювати поточний контроль і управління технологічним процесом екологічно безпечної утилізації твердих вуглецевмісних відходів в єдиному інтегрованому середовищі;

– розроблені технічні рішення системи управління екологічною безпекою процесу утилізації відходів можуть бути використані при розробці систем поводження з відходами в різних регіонах України.

Результати досліджень зі створення екологічно безпечного процесу утилізації небезпечних відходів використані у навчальному процесі Кременчуцького національного університету ім. Михайла Остроградського у нормативних дисциплінах «Екологічна безпека», «Загальна екологія та неоекологія» (акт використання результатів дисертаційної роботи від 03.09.2015 р.), методики і способи експериментальних досліджень, системний підхід при створенні і забезпеченні управління екологічною безпекою використані у навчальному процесі Національного університету цивільного захисту України у нормативній дисципліні «Техноекнологія», у дисципліні за вибором ВНЗ «Безпека потенційно-небезпечних технологій та виробництв» (довідка про використання результатів дисертаційної роботи від 07.04.2015 р.).

Методики розрахунку пристроїв для створення рідинних завіс, що запобігають розповсюдженню забруднювачів, впроваджено на виробничих підприємствах ТОВ «Азовавтобуд» (акт впровадження результатів дисертаційної роботи від 3.12.2009 р.) та ТД ВО «Машинобудівний завод» (акт впровадження результатів дисертаційної роботи від 09.02.2016 р.), спосіб утилізації твердих відходів впроваджений на виробничому підприємстві ТОВ «Універсалтехсервіс» (акт впровадження результатів дисертаційної роботи від 21.05.2013 р.), спосіб утилізації твердих вуглецевмісних відходів й рекомендації з визначення параметрів технічних пристроїв і систем для охолодження відхідних газів, використання яких запобігає повторному формуванню високотоксичних речовин впроваджено на виробничому підприємстві ТОВ «Автрамат» (акт впровадження результатів дисертаційної роботи від 17.02.2015 р.), удосконалена модель автоматизованої системи контролю й управління технологічним процесом утилізації відходів шляхом введення додаткових параметрів контролю,

впроваджені на підприємстві ТзОВ «Інститут гірничохімічної промисловості» (акт впровадження результатів дисертаційної роботи від 26.01.2016 р.).

Особистий внесок здобувача. Усі основні наукові ідеї, положення і результати теоретичних досліджень дисертації розроблені, сформульовані та отримані особисто автором.

Теоретичні узагальнення, розробка математичних моделей, аналіз і інтерпретація отриманих даних, висновки до роботи виконані безпосередньо здобувачем. Експериментальні дослідження і промислові випробування, впровадження у виробництво отриманих результатів виконані під науковим керівництвом і за безпосередньою участю здобувача.

Внесок автора в роботи, виконані у співавторстві, полягав у обґрунтуванні напрямків досліджень, плануванні експериментів та обробці результатів, теоретичному моделюванні процесів, розробці практичних рекомендацій щодо застосування, науково-технічної розробки раціональних технологічних процесів. Автору також належать загальні висновки та основні положення, які виносяться на захист.

Апробація результатів дисертації. Основні положення і результати дисертаційної роботи доповідались та обговорювались на наукових конференціях різних рівнів: «Авіаційно-космічна техніка і технологія» присвячена 75-річчю національного аерокосмічного університету ім. М. Є. Жуковського «ХАІ», 2005 р. (Україна, м. Харків), «Інтегровані комп'ютерні технології в машинобудуванні» в 2005 – 2014 рр. (Україна, м. Харків), «Охорона навколишнього середовища промислових регіонів як умова сталого розвитку України» у 2006 р. (Україна, м. Запоріжжя), «Проблеми створення та забезпечення життєвого циклу авіаційної техніки» у 2007 – 2014 рр. (Україна, м. Харків), Всеукраїнській науково-технічній конференції молодих вчених і спеціалістів «Актуальні проблеми життєдіяльності суспільства» 2014 р. (Україна, м. Кременчук), Міжвузівській науково-практичній конференції «Можливості використання методів механіки для розв'язання питань безпеки в умовах надзвичайних ситуацій» у 2006 – 2013 рр. (Україна, м. Харків), «Проблеми екологічної безпеки» у 2014 р. (Україна, м. Кременчук), «Теория и практика тушения пожаров и ликвидации чрезвычайных ситуаций» у 2014 р. (Україна, м. Черкаси), «Проблемы техносферной безопасности» у 2014 – 2015 рр. (Росія, м. Москва), «Защита населения и территорий в чрезвычайных ситуациях» у 2014 р. (Росія, м. Єкатеринбург), «Проблемы безопасности при ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций» у 2014 – 2015 рр. (Росія, м. Воронеж), «Проблемы рекультивации отходов быта, промышленного и сельскохозяйственного производства» у 2015 р. (Росія, м. Краснодар), «Обеспечение безопасности жизнедеятельности: проблемы и перспективы» у 2015 р. (Білорусь, м. Мінськ), «Research Journal of International Studies» у 2014 р. (Росія, м. Єкатеринбург), а також на наукових семінарах кафедри хімії, екології та експертних технологій Національного аерокосмічного університету ім. М. Є. Жуковського «Харківський авіаційний інститут», факультету техногенно-екологічної безпеки Національного університету цивільного захисту України протягом 2007 – 2015 рр.

Публікації. За темою дисертації опубліковано 54 наукові праці, з них 2 монографії, 7 статей у іноземних виданнях, 18 статей у журналах, які входять до переліку фахових наукових видань України, 1 патент України та 26 тез доповідей у збірниках праць конференцій, в тому числі міжнародних.

Структура і обсяг роботи. Дисертація складається зі вступу, семи розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків.

Повний обсяг дисертації становить 367 сторінок, в тому числі 131 рисунок, 14 таблиць, список використаних літературних джерел з 314 найменувань на 36 сторінках, 31 сторінка додатків.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі наведено обґрунтування актуальності теми дисертації, визначено мету, предмет і об'єкт дослідження, поставлені і сформульовані основні завдання. Виділена наукова новизна і практичне значення отриманих результатів, наведено інформацію про безпосередню апробацію роботи, її структуру і обсяг, а також особистий внесок здобувача.

Перший розділ дисертації присвячений дослідженню питань утворення відходів, їхнього приблизного морфологічного і елементного складу і сучасних способів поводження з ними. При цьому були виділені основні способи утилізації небезпечних відходів і визначені їхні позитивні і негативні сторони, що дозволило визначити раціональний напрямок у вирішенні науково-прикладної проблеми пов'язаної з розробкою екологічно безпечної технології утилізації твердих вуглецевмісних відходів.

Аналіз показав, що дослідження різних аспектів розроблення технології утилізації з урахуванням екологічної безпеки вимагає конкретизації сутності понятійного апарату й удосконалення методології вирішення цієї науково-прикладної проблеми. Слід зазначити, що забезпечення екологічної безпеки при утилізації твердих вуглецевмісних відходів є складовою системи управління, яка пов'язана з комплексом проблем життєзабезпечення людини.

Загальними питаннями концептуального характеру, пов'язаними зі створенням методологічного підходу і загальної теорії екологічної безпеки, присвячені роботи А. І. Данилова, В. Я. Шевчука, О. Д. Липенкова, В. М. Федосеева, Ю. М. Саталкіна, І. В. Масленнікової, В. М. Навроцького, та інших вчених.

Останнім часом поглиблюються і деталізуються знання з різних наукових напрямків: техніко-економічного (О. М. Трофимчук, В. М. Шмандій, А. Г. Шапар, Є. О. Яковлев, І. А. Шеренков, І. П. Крайнов, В. М. Шестопалов, Л. Д. Пляцук, М. С. Мальований, А. Б. Горстко и ін.), природного (Г. О. Білявський, І. Г. Черваньов, О. М. Адаменко, Я. М. Семчук, Є. С. Дзекцер, А. Б. Качинський, Я. О. Адаменко, В. Я. Шевчук, В. А. Котляревський, А. В. Луцки). Екологічна безпека держави розглядається як складова національної безпеки (В. О. Косовцев, А. Б. Качинський й ін.). Слід зазначити, що вирішенню проблем поводження з відходами, спрямовані наукові дослідження С. В. Петрова, В. Н. Коржика, А. В. Чернеца, А. С. Науменко, А. М. Гонопольського, М. Н. Бернадина, О. М. Касимова, О. Л. Федорова, Г. С. Маринського, И. М. Бернадина А. Н. Братцева

й інших вчених.

З аналізу наукових праць, було визначено, що найбільш перспективним і одночасно ефективним способом забезпечення екологічної безпеки при утилізації твердих вуглецевмісних відходів є застосування технології, яка базується на запобіганні утворення діоксинів й отримання енергоносіїв.

У **другому розділі** викладено системний підхід до розробки ефективних систем управління екологічною безпекою при утилізації твердих вуглецевмісних відходів. Основою для створення методологічного підходу досягнення поставленої мети і основних завдань є системний підхід. В результаті проведених досліджень отримані компоненти системи у вигляді моделі, яка може використовуватися для дослідження й синтезу як внутрішніх компонентів (підсистем), так і зовнішнього середовища (рис. 1).

Структуру системи управління подано як сукупність функціонально пов'язаних процесів технологічного характеру утилізації відходів з отриманням енергоносія. Наявність зовнішніх складових необхідних для нормального функціонування системи управління екологічною безпекою передбачає розгорнення у вигляді підсистем, які забезпечуються нормативно-правовими, планово-економічними, конструкторсько-технологічними, матеріально-технічними, енергетичними рішеннями.

Використання принципу багаторівневої декомпозиції, дозволило перейти до формалізації розв'язання задачі раціонального управління екологічною безпекою при утилізації твердих вуглецевмісних відходів. Процес проектування системи обумовлений розбиванням на ієрархічні рівні функціонально завершених етапів вирішення комплексу підзадач певного рівня (рис. 2).

Компонування інтегрованої моделі процесів управління екологічною безпекою, яка відображає розмаїття факторів, що впливають на зміст робіт для забезпечення екологічної безпеки при утилізації вуглецевмісних відходів, можливе тільки за умови її декомпозиції і розробленні щодо самостійних моделей окремих комплексів підготовки для забезпечення екологічної безпеки. На рис. 3. подано принципову схему формування інтегрованої моделі створення системи управління екологічною безпекою при утилізації твердих вуглецевмісних відходів.

З урахуванням значних витрат часу і коштів для підготовки до реалізації екологічно безпечних технологій, слід розуміти, що на практиці експериментальна перевірка різних варіантів для вирішення окремих завдань розроблення системи управління екологічною безпекою неможлива. Єдиним і досить ефективним способом вирішення завдання за допомогою обчислювальної техніки з мінімальними витратами і прийнятною точністю, є моделювання та визначення раціональності прийнятих рішень.

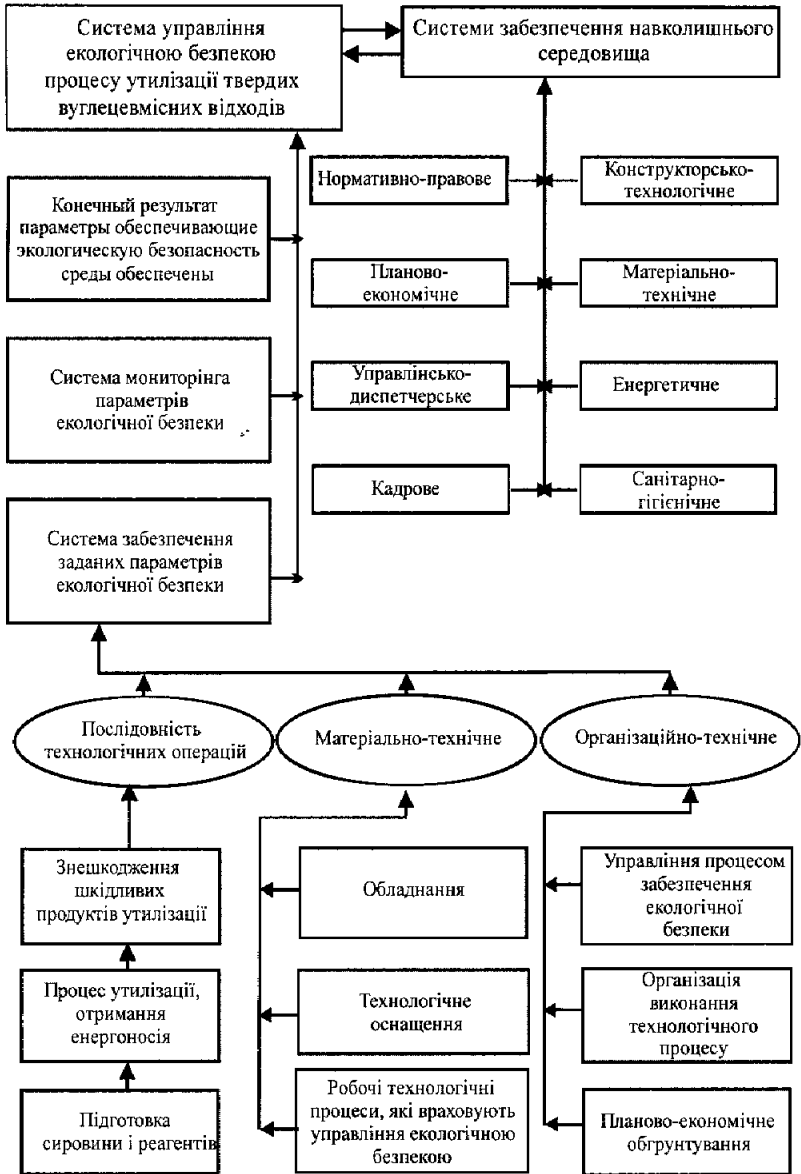


Рис. 1. Система управління екологічною безпекою при утилізації твердих вуглецевмісних відходів

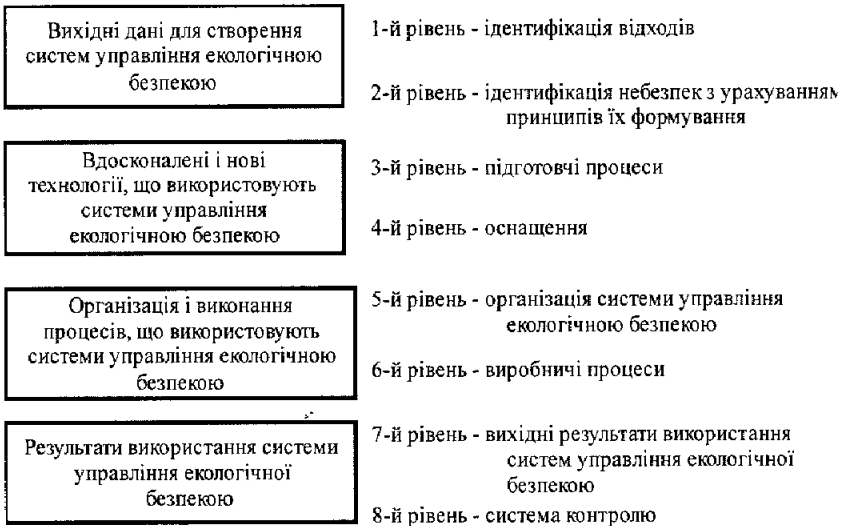


Рис. 2. Укрупнена схема багаторівневої декомпозиції

Наведені вище положення наукових основ вирішення складних проблем, а також специфічних особливостей створення системи управління екологічною безпекою лягли в основу цього наукового дослідження, одним з основних результатів якого є розроблена і практично реалізована така схема вирішення завдань:

1. Постановка завдань і аналіз інформації, що стосується окремих аспектів цих завдань для остаточного формулювання завдань дослідження.

2. Розробка моделей в різних формах подання, зручних для сприйняття і розуміння, а саме: описової, математичної, у вигляді наукової графіки, таблиць та ін.

3. Вибір критеріїв ефективності (або критеріїв прийняття рішень) для здійснення процесу раціоналізації досліджуваних систем управління екологічною безпекою.

4. Розробка методів і засобів для вирішення поставлених завдань, наприклад, розробка обчислювальних алгоритмів і програм для реалізації їх за допомогою обчислювальної техніки, як найбільш ефективних в умовах відсутності можливості експериментальної перевірки результатів моделювання у всій повноті постановки завдання.

5. Експериментальні дослідження найбільш важливих (тобто, близьких до шуканого раціонального вирішення) теоретичних розробок, включаючи перевірку їх у виробничих умовах.

6. Розробка практичних рекомендацій і нормативно-технічної документації для комерційного використання запропонованих і досліджених методів і засобів, а також оптимізаційних моделей систем управління екологічною безпекою, в тому числі, впровадження теоретичних напрацювань у навчальний процес.

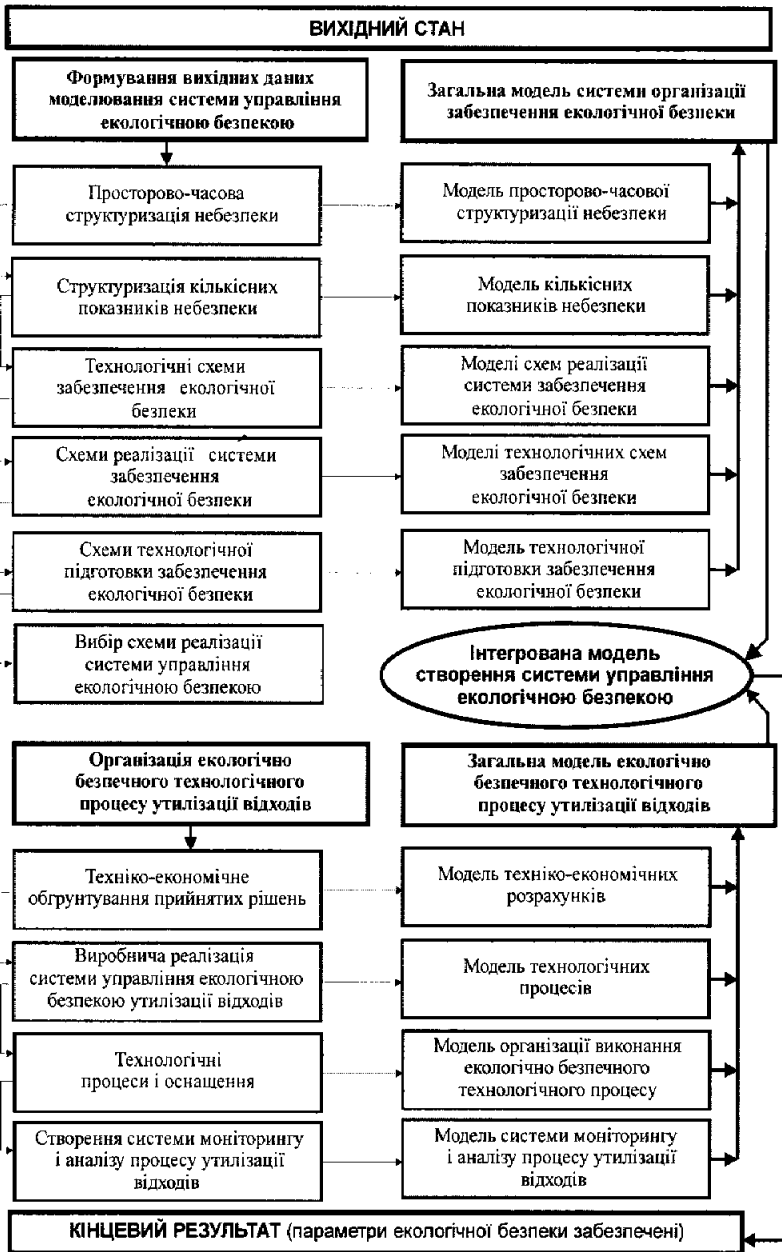


Рис. 3. Схема формування інтегрованої моделі системи управління екологічною безпекою при утилізації твердих вуглецевмісних відходів

Ідентифікація відходів в Україні відбувається відповідно до комплексу стандартів. Усі відходи виробництва і споживання підлягають обов'язковому обліку і паспортизації. Така система управління відходами дає повну інформацію про склад і властивості відходів, дозволяє контролювати обсяги їх утворення і планувати заходи щодо зменшення цих обсягів і максимального використання відходів як вторинних ресурсів. Однак, існує категорія нічийних відходів які, накопичуючись на випадкових ділянках земної поверхні, є джерелами формування екологічної небезпеки. Такі місця несанкціонованого скупчення відходів потребують оперативного виявлення і ліквідації.

Третій розділ присвячений оперативному виявленню місць несанкціонованого скупчення відходів за допомогою даних дистанційного зондування Землі та геоінформаційних систем в поєднанні з методами математичного моделювання. Для отримання супутникового зображення земної поверхні обрано сервіс Google Earth, як найбільш доступне джерело географічних інформаційних даних. Для виділення контурів звалища проводилось конструювання штучних ознак яскравості і текстурних ознак. Як ознаки яскравості об'єктів, що включають в себе безліч елементів зображення, використані показники, які характеризують форму гістограми яскравості, середнє значення яскравості, дисперсію, коефіцієнт асиметрії, ексцес. Для використання структурних ознак при комп'ютерній обробці знімків застосовано спеціальні процедури їх формалізації. Для автоматизації процесу ознаки запрограмовані в середовищі Erdas в Model Maker. В роботі отримано модель побудови критеріїв розпізнавання на знімку із залученням скануючого вікна, гістограми звалища та модель її автоматизованого розпізнавання.

Безпосереднє виділення зони з вуглецевмісними матеріалами звалища від зони з неорганічними матеріалами проведено шляхом виключення («вирізання») зі знімка ділянок звалища з низьким ступенем небезпеки, зокрема будівельне сміття і породні маси. Такі відходи становлять меншу небезпеку для навколишнього природного середовища і легко ідентифікуються на тлі підстильної рослинної поверхні за яскравістю і текстурованими ознаками, адже існує великий контраст (поріг) відносно фону. Експериментальне виявлення звалища, визначення його площі і виділення ареалів вуглецевмісної складової за запропонованою методикою проводилося на відомому об'єкті з метою визначення її достовірності. Для дослідження обрано Дергачівський полігон (Харківська область) (рис. 4).

Ефективність запропонованого методу наочно ілюструє аналіз космічних знімків зони скупчення відходів за різні періоди часу. Як критерій вибрано зміна площі досліджуваної зони. Використовуючи розроблену модель, виконано розрахунок площі звалища Дергачівського полігону ТПВ за період його експлуатації з серпня 2013 р. до жовтня 2014 р. Встановлено збільшення площі саме вуглецевмісних матеріалів з 29,6 тис. м² до 162,1 тис. м².

На підставі проведених досліджень і розрахунків можна зробити висновок про небезпеку, характер і динаміку розвитку звалища відходів, що дозволяє приймати рішення про подальше поводження з цими відходами. Вуглевмісні відходи повинні бути вилучені з навколишнього природного середовища й утилізовані з використанням екологічно безпечної технології.

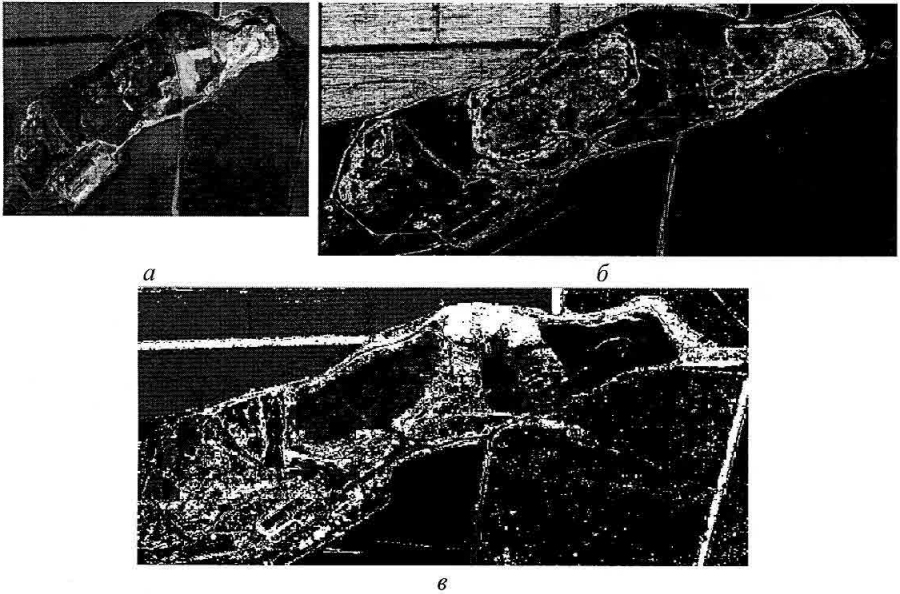


Рис. 4. Результат експериментального виділення ареалів органічної складової звалища: а – вихідний знімок; б – площа, зайнята будівельними відходами й породними масами; в – площа, зайнята вуглецевмісними відходами

У **четвертому розділі** проведено дослідження можливості створення ефективної екологічно безпечної технології утилізації твердих вуглецевмісних відходів. Екологічно чиста технологія утилізації твердих вуглецевмісних відходів, яка виключає утворення високотоксичних сполук та забезпечує повне вилучення вуглецю з суміші твердих речовин відходів, досягається поетапним високотемпературним їх обробленням за допомогою нової послідовності технологічних операцій.

Особливістю такої технології є те, що перед газифікацією у плазмовому газогенераторі подрібнені тверді відходи піддають термохімічній газифікації з використанням палива й парів води, після чого їх додатково газифікують в плазмовому газогенераторі, де будь-які небезпечні речовини і матеріали розкладаються при температурі понад 1200 °С. Продуктами такого процесу є висококалорійний горючий газ і нейтральний твердий залишок у вигляді осклованого шлаку, вага якого значно менша, ніж при інших способах утилізації. При цьому ступінь перероблення відходів становить понад 99,5 %. Всі описані вище особливості були враховані при розробленні технології утилізації твердих вуглецевмісних відходів, схему якої подано на рис. 5.

Технологія включає процеси термохімічної газифікації, плазмової обробки газів й твердого залишку, різкого охолодження газів, їх попереднього очищення, метанування, остаточного очищення і низькотемпературного поділу отриманих багатокомпонентних газових сумішей для виділення енергоносіїв.

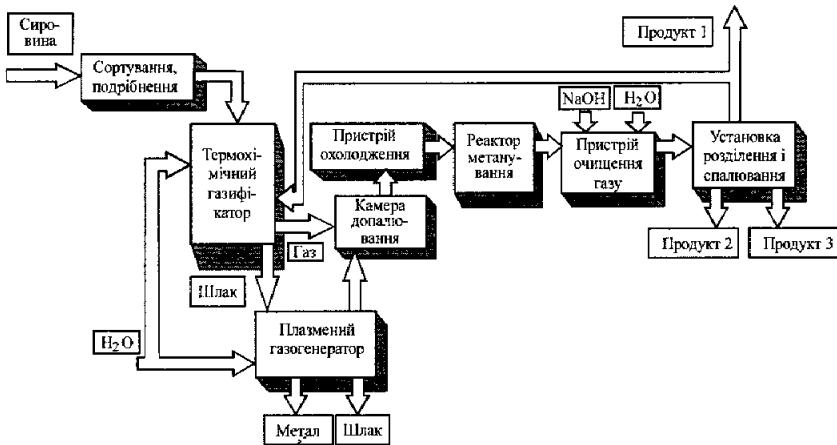


Рис. 5. Технологічна схема утилізації твердих вуглецевмісних відходів

Технологічний комплекс, який реалізує цю технологію, дозволяє утилізувати тверді вуглецевмісні відходи з одночасним виробленням теплової та електричної енергії, та отримувати газоподібні або зріджені енергоносії, які можуть бути піддані зберіганню і транспортуванню. При цьому установка може працювати автономно, безперервно або в періодичному режимі, і без обмежень у мінімальній кількості оброблюваної сировини. Продукти утилізації відходів за такою схемою містять метан і є енергоносієм.

Реактор складається з двох камер, одна з яких є термохімічним газогенератором, інша – плазмовим. У першій камері здійснюється процес високотемпературного піролізу відходів з утворенням піролізного газу, розплавленого металу і твердого залишку (шлаку). У другій камері проводять плазмове дооброблення одержаних продуктів, що виключає утворення в них смолистих і токсичних речовин. При цьому забезпечується розкладання складних і важких органічних молекул на прості фрагменти і утворюється екологічно безпечний осклований шлак. У зв'язку з тим, що в плазмовому реакторі обробляється не вся сировина, а тільки її частина (не більш 20 %), енерговитрати зменшуються. Отриманий синтез-газ може бути застосований для опалення й підтримання процесу піролізу або газифікації. З метою отримання енергоносіїв синтез-газ потребує подальшої обробки.

Дана технологія дозволяє не тільки запобігти утворенню високотоксичних сполук (діоксинів і фуранів) при обробці відходів в реакторі, але й їх повторному формуванню на виході з реактора під час охолодження газу. На стадії оброблення відходів це досягається за рахунок високої температури плазмового струменя, а на виході з реактора – різким охолодженням отриманих газів. Для цього в блоці охолодження передбачено випарник теплообмінник з відцентровими форсунками, що забезпечує впрорскування диспергованої рідини в потік гарячого повітря, який виходить з плазмового реактора. Отже, доводиться мати справу з двофазним

багатокомпонентним середовищем з фазовим перетворенням, оскільки частинки води в газовому потоці з високою температурою будуть випаровуватися.

Ефективність водяної завіси для охолодження генераторного газу у випарному теплообміннику залежить від структури і параметрів газокрапельного потоку. Одним з показників ефективності роботи системи охолодження є значення параметрів подачі води форсунками, які забезпечують дисперсність розпилювання води і швидкість її витікання із сопла. Отже, необхідним є такий варіант подачі води відцентровими форсунками у високотемпературний газовий потік, який може бути визнаний задовільним, тобто забезпечувати різке охолодження газу до безпечної температури 300 °С. Фізико-математичний опис цього процесу можливий на основі використання класичного підходу для руху двофазного потоку. При описанні газодисперсного середовища були прийняті такі основні допущення:

- потік газової фази нестислий, турбулентний;
- турбулентність ізотропна;
- краплі сферичні, випаровуються;
- об'ємом, який займають краплі, нехтували.

Взаємодія фаз враховувалась за допомогою моделі «крапля – джерело в осередку», відповідно до якої присутність частинок в потоці виявлялося через додаткові джерела в усереднених за Рейнольдсом рівняннях нерозривності, збереження імпульсу (Нав'є–Стокса), енергії і масової частки компонентів, що замикаються напівемпіричною моделлю турбулентності типу k-ε.

$$\frac{\partial u_j}{\partial x_j} = S_m; \quad (1)$$

$$\rho \frac{\partial u_j u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial p}{\partial x_i} - \frac{\partial \tau_{ij}}{\partial x_j} - \rho \bar{g} = S_{fi}, \quad i = 1, 2, 3; \quad (2)$$

$$\rho \frac{\partial u_j h}{\partial x_j} - \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\frac{\mu}{Pr} + \frac{\mu_m}{Pr_m} \right) \frac{\partial h}{\partial x_j} = S_q; \quad (3)$$

$$\rho \frac{\partial u_j k}{\partial x_j} - \frac{\partial}{\partial x_i} \left(\mu + \frac{\mu_m}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_i} - \rho(G - \varepsilon) = 0; \quad (4)$$

$$\rho \frac{\partial u_j \varepsilon}{\partial x_j} - \frac{\partial}{\partial x_i} \left(\mu + \frac{\mu_m}{\sigma_\varepsilon} \right) \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_i} - \rho(C_{\varepsilon 1} G - C_{\varepsilon 2} \varepsilon) \frac{\varepsilon}{k} = 0; \quad (5)$$

$$\rho \frac{\partial u_j Y_i}{\partial x_j} - \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\frac{\mu}{Sc} + \frac{\mu_m}{Sc_m} \right) \frac{\partial Y_i}{\partial x_j} = S_i; \quad (6)$$

$$p = R \rho T \sum_i \frac{Y_i}{M_i}. \quad (7)$$

Перенесення маси від дисперсної фази до неперервної фази розраховано шляхом оцінки зміни маси краплі при її проходженні через кожен контрольний об'єм геометричної моделі. Ця зміна маси розраховується як:

$$\Delta S_m = \Sigma \left(\frac{\Delta m_p}{m_{p0}} \cdot \dot{m}_{p0} \right). \quad (8)$$

Перенесення імпульсу від неперервної фази до дисперсної фази обчислювалось шляхом оцінки зміни імпульсу краплі при її проходженні через кожен контрольний об'єм геометричної моделі. Ця зміна імпульсу розраховується як:

$$\Delta S_f = \Sigma \left(\frac{2\mu C_R Re_p}{3\rho_p d_p^2} (u_{pi} - u_i) \cdot \dot{m}_p \Delta t \right), \quad (9)$$

де \dot{m}_p – масова витрата пара від краплі; Δt – крок за часом.

Перенесення тепла від неперервної фази до дисперсної фази розраховувалось шляхом оцінки зміни ентальпії краплі при її проходженні через кожен контрольний об'єм геометричної моделі:

$$\Delta S_q = \Sigma \left(\frac{\bar{m}_p}{m_{p0}} c_p \Delta T_p + \frac{\Delta m_p}{m_{p0}} \left(-L + \int_{T^0}^{T_p} c_{pi}(T) dT \right) \cdot \dot{m}_{p0} \right), \quad (10)$$

де \bar{m}_p – середня маса краплі в контрольному об'ємі; c_p – теплоємність краплі; ΔT_p – зміна температури краплі в контрольному об'ємі; L – прихована теплота випаровування; c_{pi} – теплоємність пари палива; T_p – температура краплі на виході з контрольного обсягу; T^0 – стандартна температура для ентальпії.

Чисельне інтегрування газової фази, дисперсної фази і міжфазної взаємодії проводять для певного фрагмента простору (розрахункової області), в межах якого повинна бути досягнута безпечна, з точки зору утворення діоксидів, температура газового потоку.

Газ після газифікації має малий вміст метану і великий вміст азоту. Для отримання енергоносія, наприклад моторного пального, синтез-газ збагачується метаном в реакторі метанування. Температура протікання типової реакції метанування становить 200...400 °С. Для метанування може бути використаний промисловий каталізатор або мартенівський шлак, який пройшов спеціальну активацію і також проявляє високу активність в цих процесах.

Після очищення від шкідливих домішок газ надходить в блок низькотемпературного поділу багатокомпонентних газових сумішей. Цей блок – складна енерготехнологічна установка з великою кількістю функціональних елементів. Для достовірного розрахунку параметрів цієї енерготехнологічної установки були розроблені математичні моделі її функціональних елементів: турбодетандера; рекуперативного теплообмінника; апарату повітряного охолодження; насоса; компресора; сепаратора; ректифікаційної колони. Для можливості реалізації складної схеми введені допоміжні елементи – роздільник потоку і змішувач. Як вихідні параметри і припущення прийнято таке:

– величина недорекуперації у теплообмінниках, різниця температур потоків в піч-точці (мінімальна), $\Delta T_{\min} = 5 \text{ K}$;

– температура навколишнього середовища $T_{\text{о.с.}} = 298 \text{ K}$.

- ізоентропійний ККД детандера, $\eta_d = 60 \%$;
- ізоентропійний ККД насоса, $\eta_n = 75 \%$;
- ізоентропійний ККД компресора, $\eta_k = 75 \%$;
- гідравлічні втрати в елементах блоку низькотемпературного поділу газу дорівнюють нулю;
- теплообміном функціональних елементів схеми і сполучних трубопроводів з навколишнім середовищем нехтуємо.

Для розрахунку детандера використовувалась адіабатна модель, в якій за вихідні данні прийнято тиск і температуру потоку на вході в детандер, тиск на виході з детандера, витрата робочого тіла і адіабатний коефіцієнт корисної дії детандера. Математична модель розрахунку рекуперативного теплообмінника в найбільш загальному випадку передбачає існування як прямого, так і зворотного потоку в рідкому, двофазному і паровому стані. Для розрахунку рекуперативного теплообмінника при прийнятих припущеннях проводиться його умовне розчленовування по потоку на дві секції: в першій секції прямий потік теплоносія прогрівається до температури насичення (температури в пінч-точці), у другій секції теплоносії змінює свій фазовий стан і перегрівається. Аналогічно для зворотного потоку відбувається охолодження парової фази до температури конденсації, потім теплоносії конденсується і продовжує охолоджуватися як рідина.

Апарат повітряного охолодження розглядається з поперечним обтіканням охолоджуючим повітрям одно- або багатоходового (з поворотними колекторами) горизонтального шахового або коридорного пучка круглих гладких або оребрених труб і заданими параметрами на вході. Отже, аналіз його робочого процесу здійснюється в постановці прямої задачі. При описанні процесів використовується гідравлічна модель потоків, в тому числі двофазного всередині труб, при таких припущеннях:

- течія обох потоків одномірний, стаціонарний;
- допускається часткова конденсація газу, що рухається всередині труб;
- у поперечному перерізі рідина і пар знаходяться в термічній рівновазі;
- має місце прослизання фаз;
- враховуються гідравлічні втрати, при вході і виході потоку газу;
- параметри газу в колекторах однорідні, усереднені;
- витрата теплоносія в трубному пучку одного ходу розподіляється так, щоб падіння тиску в кожному шарі труб було однаковим;
- вплив структури двофазного потоку на гідродинаміку і теплообмін враховується введенням карти режимів течії.

При тепловому і гідродинамічному розрахунку потоків в каналах вибір аналітичних і статистичних розрахункових співвідношень визначається режимом течії. У розглянутій задачі охолоджуваний теплоносії може перебувати в газоподібному стані і у вигляді суміші газу з конденсатом. Тому розглядаються можливі режими однофазного і двофазного потоку в горизонтальних каналах, а також визначаються критерії зміни режимів. Для однофазного потоку в трубах виділяють ламінарний, турбулентний і перехідний режими течії, критерієм зміни яких є число Рейнольдса. Ламінарний режим реалізується при $Re < 2300$, турбулентний - при $Re > 104$. У ламінарному режимі за критерієм Релея виділяють

в'язкісний ($Ra < 170$) і в'язкісно-гравітаційний режими течії. Для двофазного потоку в горизонтальних трубах широко використовують карту режимів Бейкера і Шихта, де виділяють такі основні режими течії: розшарований, снарядний, хвильовий, кільцевий, дисперсно-кільцевий, бульбашковий і пінистий.

Для розрахунку сепаратора, який здійснює поділ парової і рідкої фаз багатокомпонентного двофазного потоку, використовується адиабатна ізентальпійна модель. У цій моделі як вихідні дані прийнято витрату, склад, тиск і температуру потоку на вході в сепаратор. Для визначення складів газоподібного і рідкого продуктів, одержуваних на виході з сепаратора, розроблено математичну модель, яка базується на рівнянні стану Пенга-Робінсона.

Процес поділу багатокомпонентних вуглеводневих сумішей в ректифікаційній колоні описується системою рівнянь

$$\begin{aligned} G_{IN} &= G_{L_EX} + G_{V_EX}, \\ G_{IN} \cdot i_m(P_{PK_IN}, T_{PK_IN}) &= G_{L_EX} \cdot i_m(P_{L_EX}, T_{L_EX}) + \\ &+ Q_{PB} + G_{V_EX} \cdot i_m(P_{V_EX}, T_{V_EX}) - Q_{KOND}, \end{aligned} \quad (11)$$

де G_{L_EX} , G_{V_EX} – витрати однофазних продуктів, рідкого і газоподібного, на виході з колони ректифікації; i_m – питома ентальпія багатокомпонентної суміші, яка визначається для певного компонентного її складу; T_{L_EX} , P_{L_EX} – температура і тиск рідкого продукту на виході з бойлера відповідно; T_{V_EX} , P_{V_EX} – температура і тиск газоподібного продукту на виході з конденсатора відповідно; Q_{PB} – теплота, підведена до бойлера, Q_{KOND} – теплота, відведена з конденсатора.

Компонентний склад вхідного і вихідних продуктів пов'язаний такою системою рівнянь:

$$\begin{cases} G_{IN} \cdot g_{IN_1} = G_{L_EX} \cdot g_{L_EX_1} + G_{V_EX} \cdot g_{V_EX_1} \\ G_{IN} \cdot g_{IN_2} = G_{L_EX} \cdot g_{L_EX_2} + G_{V_EX} \cdot g_{V_EX_2} \\ G_{IN} \cdot g_{IN_3} = G_{L_EX} \cdot g_{L_EX_3} + G_{V_EX} \cdot g_{V_EX_3} \\ \dots \\ G_{IN} \cdot g_{IN_n} = G_{L_EX} \cdot g_{L_EX_n} + G_{V_EX} \cdot g_{V_EX_n} \end{cases}$$

де g_{IN_i} , $g_{L_EX_i}$, $g_{V_EX_i}$ – масові частки i -го компонента на вході до колони ректифікації, на виході з ребойлера і конденсатора відповідно.

Для вирішення отриманої системи рівнянь використано метод послідовних наближень. На підставі вищевикладених досліджень запропоновано методику розрахунку енерготехнологічної установки для низькотемпературного поділу вуглеводневих сумішей. Визначено використовувані функціональні елементи, кожен з яких описаний набором рівнянь. Встановлено зв'язки між функціональними елементами за принципом: «вихід з елемента А – вхід в елемент Б». За результатами проведених досліджень запропоновано базову схему блоку низькотемпературного поділу багатокомпонентних вуглеводневих сумішей з підвищеним вмістом метану (рис. 6).



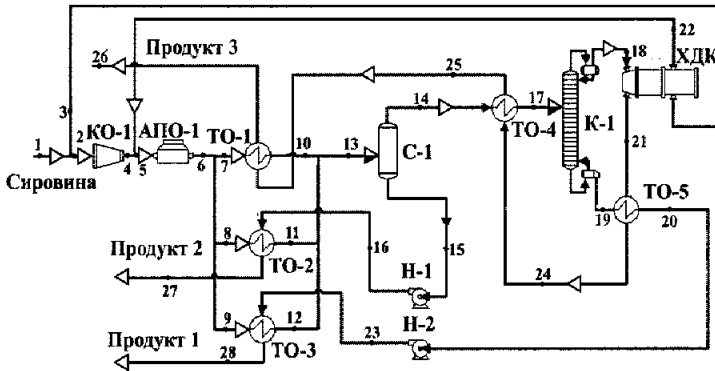


Рис. 6. Схема енерготехнологічної установки для поділу багатоконпонентних вуглеводневих сумішей

Загальна технологічна схема процесу отримання енергоносія у вигляді пального описана такою послідовністю. Газ після очищення від шкідливих домішок і сірководню осушують в блоці адсорбційної осушення. Далі відбувається процес стиснення в компресорі КО-1 з наступним охолодженням в апараті повітряного охолодження АПО-1 до температури навколишнього середовища. В подальшому газ поділяється на 3 потоки і направляется до теплообмінників ТО-1, ТО-2, ТО-3 для охолодження зворотними потоками продуктів. Після об'єднання всіх трьох потоків газ надходить в сепаратор С-1, де відділяється рідка фаза. Потім тиск отриманого рідкого продукту в насосі Н-1 піднімається до 22 МПа. Газоподібна фаза з сепаратора С-1 охолоджується в теплообміннику ТО-4 і надходить на колону ректифікації К-1. З конденсатора колони у верхній частині відбирається газоподібний продукт, що являє собою суміш CO , H_2 і N_2 . Далі, проходячи через детандерну частину хвильового детандер-компресора (ХДК), цей газоподібний продукт здійснює роботу розширення, яка використовується для стиснення частини вихідного газу паралельно компресора КО-1. У зворотному потоці цей газ проходить через теплообмінники ТО-5, ТО-4 і ТО-1, охолоджуючи послідовно продукт 3 і прямий потік вхідного газу. З ребойлера ректифікаційної колони К-1 відбирається продукт, збагачений метаном, який стискається насосом до тиску 22 МПа і підігрівається в теплообміннику ТО-3, після чого у вигляді стисненого газу може бути використаний як пальне.

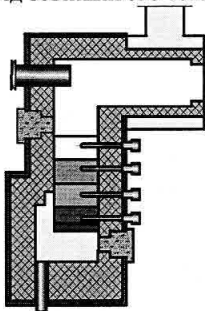
Отже, запропонована послідовність процесів в розробленій технології утилізації твердих вуглецевмісних відходів виключає утворення високотоксичних речовин в генераторному газі і в твердому залишку. Зниження ймовірності виникнення високотоксичних речовин при газифікації відходів досягається різким охолодженням генераторного газу до безпечної температури. На основі універсального класичного підходу розроблено математичну модель охолодження генераторного газу диспергованою рідиною і отримані співвідношення, які описують особливості тривимірних течій при охолодженні генераторного газу зрешувальною системою при відведенні газу. Ця математична модель дозволяє визначити найбільш ефективний режим подачі води для

вирішення завдання щодо зниження рівня діоксинів. Метанування і подальший поділ отриманих багатокомпонентних газових сумішей в розробленій енерготехнологічній установці дозволяє не тільки забезпечити підтримання процесів газифікації відходів, а й отримувати енергоносії, придатний для реалізації й зберігання.

П'ятий розділ присвячено обґрунтуванню конструктивних рішень технологічних пристроїв, які забезпечують реалізацію екологічно безпечної утилізації вуглецевмісних відходів з одержанням енергетичної сировини.

При розробленні конструкції плазмового газогенератора враховані екстремальні умови, які створюються в ньому при використанні плазмотронів як джерела тепла. У центрі камери утворюється зона з екстремально високими температурами, а біля стін камери – зони з більш низькими температурами. Для ефективного оброблення матеріалу необхідно створити температуру в зоні знаходження сировини близько 1200 °С. Забезпечення такого режиму має бути обумовлено умовами тепловідводу через стінки камери і відповідним вибором матеріалу і товщини шару футеровки.

Теплота, утворена в камері згоряння печі, йде на покриття теплових втрат в навколишнє середовище через стінки внаслідок теплопровідності і на акумуляцію її в тепловому бар'єрі печі. Розрахунок проводився з умови гранично допустимої температури на стінках камери і елементах корпусу – 1250 °С. На рис. 7 подано схему і загальний вигляд печі змішаної газифікації. Вона має три основні частини: камеру згоряння в нижній частині, шахту і камеру допалювання. У печі виконані місця для розміщення 2-х плазмотронів в камері згоряння і одного в камері допалювання. Вони розміщуються в керамічних трубах діаметром 106 мм і захищені від зовнішнього тепла за допомогою теплоізоляції МКРВ-200.



а



б

Рис. 7. Установа змішаної газифікації відходів: а – схема; б – загальний вигляд

Для запобігання повторному утворенню діоксинів і фуранів в генераторному газі на виході з камери допалювання встановлений випарний теплообмінник в якому відбувається різке охолодження газу до безпечної температури 300 °С. На вході в теплообмінник встановлені форсунки для розпилю води, які розміщені зі зміщенням в площині, з метою забезпечення повного перекриття площі перерізу каналу (рис. 8).

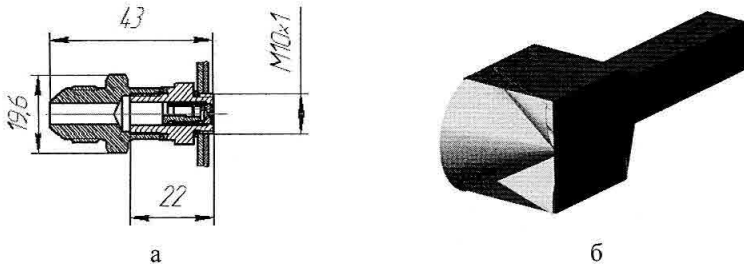


Рис. 8. Конструктивна схема форсунки (а) і схема створення водяної завіси (б) на вході в теплообмінник

Реакція метанування (рис. 9) відбувається із введенням водяної пари в присутності каталізатора (мартенівського шлаку), ККД якого становить 40 %. Оскільки реакція екзотермічна, забезпечується відведення тепла шляхом вприскування охолоджувальної рідини (води). При цьому в реакторі підтримується тиск близький до атмосферного і температура на рівні 300 °С, що найбільш сприятливо для збагачення газу метаном.

Далі газ, збагачений метаном, потребує видалення твердих частинок у вигляді сажі й інших компонентів. Наявність в одержаному газі дрібнодисперсних частинок, екологічно шкідливих хімічних фракцій зобов'язує до проведення додаткових технологічних операцій очищення. Для очищення від дрібнодисперсних твердих частинок використано технологічний модуль, що складається з водяного скрубера і водоемульсійну фільтра (рис. 10), а від кислот – технологічний модуль лужного очищення газу, роботу якого можна описати як сукупність термодинамічного і механічного процесів. Холодоагент (вода) подається насосом в рідино-газовий ежектор і вприскується в камеру ежекування.

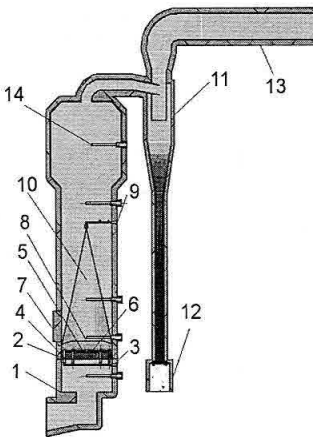


Рис. 9. Конструктивна схема реактора метанування

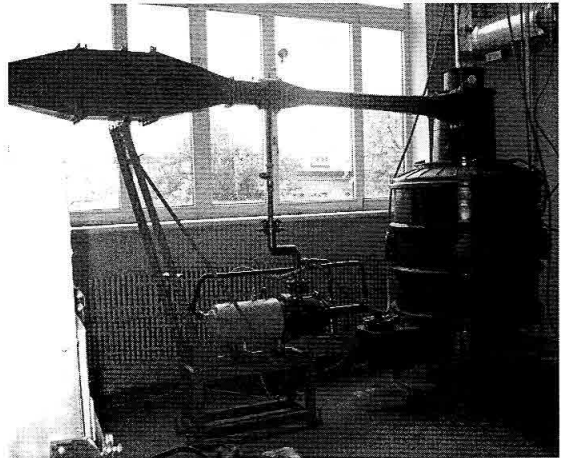


Рис. 10. Технологічний модуль очищення газу

Для контролю технологічних параметрів процесу утилізації, їх фіксації, документування, архівування й оперативного реагування на їхні зміни вдосконалено автоматизовану систему управління технологічним процесом (АСУТП). Загальний принцип побудови АСУТП засновано на використанні сумісних програмних продуктів з існуючими стандартами. Створення проекту АСУТП здійснювалося в єдиному інтегрованому середовищі, і працює під управлінням операційної системи MS Windows. Кінцевим результатом роботи інструментальної системи є набір файлів, призначених для виконання завдань в моніторах реального часу на робочому місці оператора, який здійснює моніторинг і управління процесом утилізації відходів.

Весь технологічний процес утилізації відходів відображено у вигляді окремих графічних екранів на моніторі, що відповідають різним стадіям процесу. На кожному екрані показані типи датчиків і місця їхнього розташування і виводяться значення вимірюваних величин в цифровому вигляді і у вигляді тимчасових графіків (трендів). Так само відображаються пристрої управління процесом у вигляді кнопок, тумблерів тощо, які дозволяють управляти відповідними механізмами – електродвигунами, клапанами насосами, вимикачами безпосередньо на автоматизованому робочому місці. У разі виникнення аварійних ситуацій або перевищення граничних параметрів на екрані є сигнали типу «аларм», які необхідні для прийняття відповідних заходів з управління процесом. На рис. 11 подано графічний екран термохімічної газифікації, з якого видно газогенератор з шахтою, перероблювану сировиною і характерними для процесу шарами.

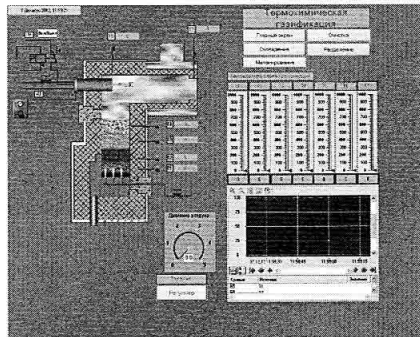


Рис. 11. Графічний екран блоку термохімічної газифікації

Запропонована система АСУТП утилізації є розробленою в єдиному інтегрованому середовищі, що забезпечує їй можливість бути інтегрованою в загальну систему контролю і забезпечення екологічної безпеки.

У **шостому розділі** наведені експериментальні дослідження розроблених математичних моделей. Запропонована технологія утилізації потребує оцінки ефективності з точки зору забезпечення екологічної безпеки процесу. Для детального аналізу складних процесів, таких як різке охолодження генераторного газу диспергованою рідиною і низькотемпературний поділ газових сумішей, найбільш економічним і зручним способом є чисельне моделювання.

Чисельний експеримент проведено для процесів у випарному теплообміннику охолодження генераторного газу. Фрагмент простору (розрахункова область), для якого проведено чисельне інтегрування газової фази, дисперсної фази і міжфазової взаємодії наведено на рис. 12. На рисунку розташування форсунок відзначено хрестом; цифри 1, 2, 3, 4 вказують на номери контрольних перерізів. Границя вихідного патрубку збігається з перерізом 4.

При моделюванні прораховано декілька варіантів подачі води форсунками у гарячий газовий потік. Розрахункова область покривалася нерівномірною розрахунковою сіткою, яка включала 77087 полідричних осередків. Чисельне інтегрування системи диференціальних рівнянь в частинних похідних із заданими граничними умовами передбачає їх дискретизацію. Дискретизація рівнянь у просторі виконувалася методом контрольних об'ємів на неструктурованій (невпорядкованій) розрахунковій сітці, яка складена з полідричних елементарних об'ємів – осередків.

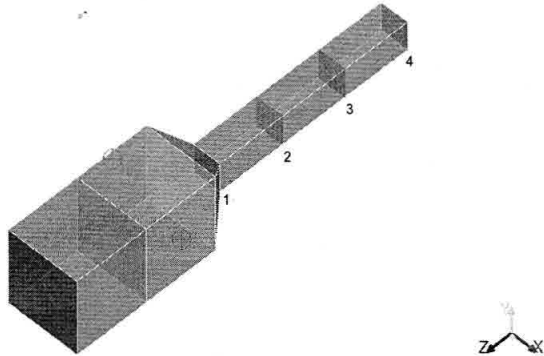


Рис. 12. Розрахункова область (ізометрія): 1, 2, 3, 4 – контрольні перерізи

Стійкість чисельного розв'язку може бути забезпечена застосуванням методу нижньої релаксації незалежних змінних. Кількість ітерацій, необхідних для вирішення стаціонарних завдань аерогідродинаміки, визначається як алгоритмом різницевої схеми, так і критерієм оцінки збіжності розв'язку. Для оцінки збіжності пропонується застосовувати інтегральний критерій щодо вектора консервативних змінних. Точність чисельного рішення оцінювалась за ступенем виконання критеріїв збіжності, ступеня незалежності рішення від розміру розрахункової сітки і ступеня відповідності результатів розрахунку відомим фізичним уявленням. Сіткова незалежність рішення оцінювалась шляхом порівняння чисельних результатів, одержаних на кількох розрахункових сітках, що різняться кількістю розрахункових осередків.

З використанням цього розрахункового методу визначено параметри газу в будь-якій точці розрахункової області. Результати чисельного моделювання подано на рис. 13 й 14. З аналізу розрахунків видно, що у другому варіанті потік крапель води, що подаються відцентровими форсунками в проточну частину теплообмінника у вигляді конусоподібного розпилю, довго зберігає свій початковий імпульс, після чого слідує по траєкторіях, обумовленим впливом на краплі потоку

газу. Траєкторії викривлені через міжфазний обмін імпульсом і рикошет від стінок теплообмінника. При цьому в значній мірі зберігається симетрія течії і відповідно симетрія траєкторій крапель, що обумовлено слабкою чутливістю щодо великих крапель ($\bar{d} = 144 \text{ мкм}$) до малих збурень (флуктуацій) швидкості газу.

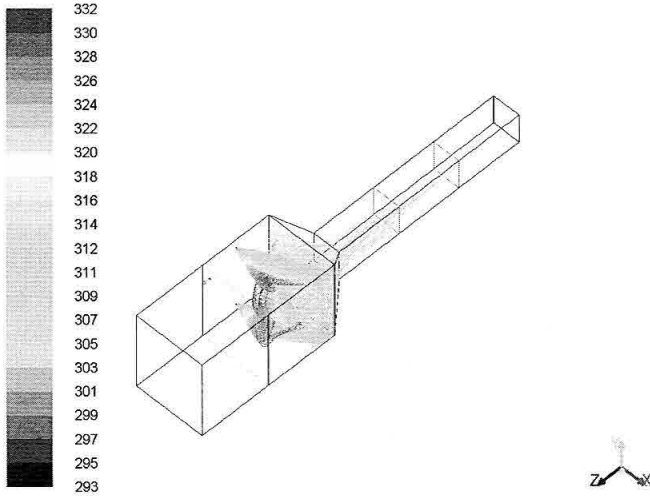


Рис. 13. Траєкторія потоку крапель, пофарбована відповідно до часу їхнього перебування, с

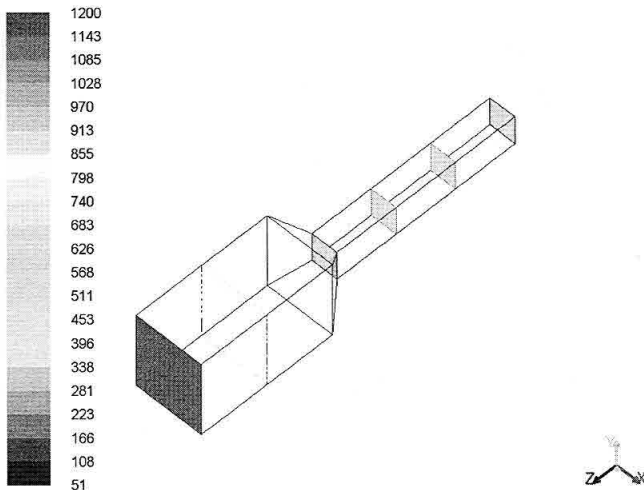


Рис. 14. Розподіл температури газу ($^{\circ}\text{C}$) в характерних поперечних перерізах теплообмінника

Крім того з рис. 13 видно, що краплі, впорскують з початковою температурою 20 °С в потік газу, який має температуру 1200 °С, в результаті процесів конвективного теплообміну і випару при русі всередині досліджуваної області приймають температури від 20...59 °С, не досягаючи температури кипіння води 100 °С. Також видно, що деяка частина крапель не встигає випаруватися досягаючи перерізу № 1.

Випаровування крапель триває у вузькій ділянці, а саме від перерізу № 1 до № 4. Однак кількість таких крапель невелика, оскільки числове значення середньої масової частки водяної пари $g_{H_2O,cp}$ в парогазовій суміші в перерізі № 1 дуже близьке до рівноважного, до якого дана величина прямує нижче за течією в перерізах № 2, № 3 та № 4. Чисельне значення середньої температури парогазової суміші t_{cp} в перерізі № 1 всього лише на 3 °С перевищує рівноважне (304 °С), до якого зазначена величина швидко прямує нижче за течією – в перерізах № 2, № 3 та № 4.

Температура парогазової суміші і масова частка водяної пари в ній рівномірно розподілені за зазначеним вище перерізами, в тому числі в перерізі № 1 (див. рис. 14), де коефіцієнти рівномірності складають $\gamma_T = 0,9795$ і $\gamma_{H_2O} = 0,9799$. При цьому максимальна температура парогазової суміші в перерізах № 1, № 2, № 3 й № 4 перевищує рівноважну (304 °С) всього лише на 60 °С, 9 °С, 6 °С і 4 °С відповідно. Можна зробити висновок, що структура і параметри газокрапельного потоку в цілому відповідають задуманій схемі водяної завіси, для різкого охолодження газу.

Отримана математична модель тривимірної течії газодисперсного середовища з фазовим перетворенням (випаровуванням) і міжфазовою взаємодією якісно чітко визначає основні особливості процесу охолодження генераторного газу впорскуванням крапель води у гарячий газовий потік залежно від способів і режимів подачі води форсунками.

В рамках розробленої чисельної моделі отримані розрахункові оцінки середнього, максимального і мінімального значень температури парогазової суміші і масової частки водяної пари, що міститься в ній, в контрольних перерізах теплообмінника, які дозволяють судити про ефективність охолодження генераторного газу уприскуванням крапель води. Вдалося виявити більш ефективний спосіб і режим подачі води. Для цього було досліджено рух елементарного обсягу газу в проточній частині теплообмінника (рис. 15) і побудований графік залежності координати Z елементарного обсягу газу від часу його перебування у певному перетині. Розрахунок системи охолодження проведено з умови забезпечення зниження температури генераторного газу від 1200 до 300 °С, при цьому повний час перебування елементарного обсягу газу в проточній частині теплообмінника дорівнює 1,32 с, витрата води становить 0,0036 кг/с (12,7 л/год.) при охолодженні 30 м³/год. газу, а температура у контрольному перетині № 4 – 305,8 °С (рис. 16).

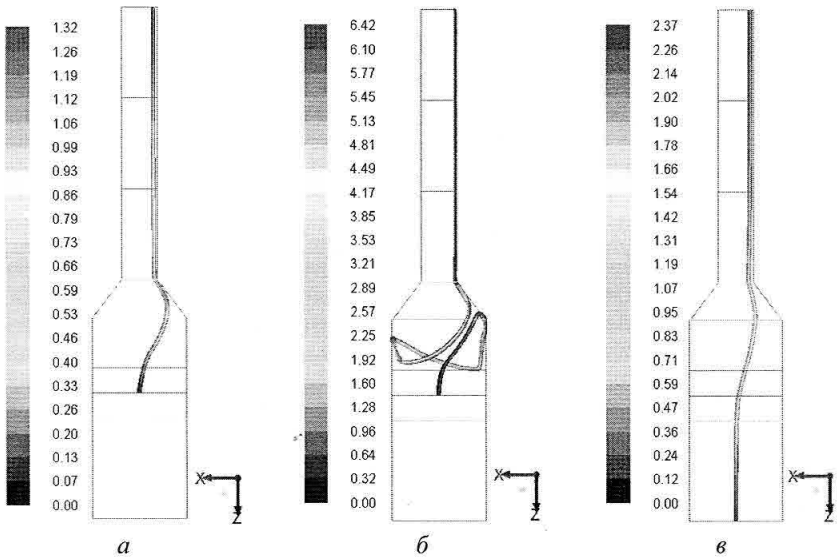


Рис. 15. Траєкторія руху елементарного об'єму газу (контрольна цівка струму):
 а – режим охолодження № 1; б – режим охолодження № 2;
 в – режим охолодження № 3

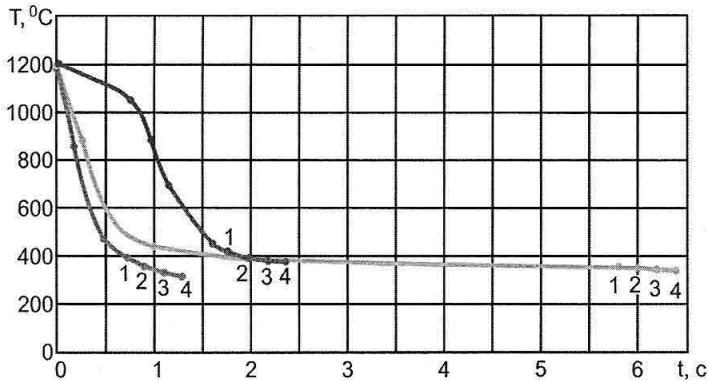


Рис. 16. Залежність температури газу ($^{\circ}\text{C}$) від часу його охолодження (с):
 ● – режим охолодження № 1; ◐ – режим охолодження № 2; ◑ – режим охолодження № 3

Результати чисельного моделювання процесів в енерготехнологічній установці низькотемпературного поділу вуглеводневих сумішей, що відповідає розробленій базовій схемі (див. рис. 6) подано в таблиці 1.

Таблиця 1

Компонентний склад багатоконпонентної вуглеводної суміші та продуктів, одержаних після низькотемпературного поділу, мол.%

Компонент газової суміші	Багатоконпонентна вуглеводнева суміш	Продукт 1	Продукт 2	Продукт 3
CH ₄	37,56	91,53	83,48	0,23
H ₂	1,96	0	0	3,35
CO	42,87	6,79	12,28	67,82
N ₂	17,61	1,68	4,24	28,60

Відповідно до складу газу, наведеному в таблиці 1, при витраті сировинного газу 60 кг/год. після блоку поділу вуглеводневих сумішей може бути отримано суміші CO, H₂ і N₂ (тобто продукту 3) 34,76 кг/год., продукту 1 (з вмістом метану 91,53 %) – 17,72 кг/год. й продукту 2, що на 83,48 % складається з метану – 7,52 кг/год. Слід зауважити, що в конденсаторі ректифікаційної колони К-1 передбачається використання холодоагенту з температурою не вище -182 °С, що дозволяє відводити теплову потужність 2,836 кВт. За температурним рівнем як холодоагент може служити рідкий азот.

У разі неможливості використання низькотемпературного холодоагенту використовується колони ректифікації без конденсатора. В цьому випадку варіантом базової схеми (див. рис. 6) може служити схема подана на рис. 17, при реалізації якої може бути отримано 5,242 кг/год. чистого метану, тобто продукту 1, та 54,76 кг/год. метановмісного продукту, тобто продукту 2. Склад продуктів, одержуваних на виході з блоку поділу вуглеводневих сумішей поданий у табл. 2.

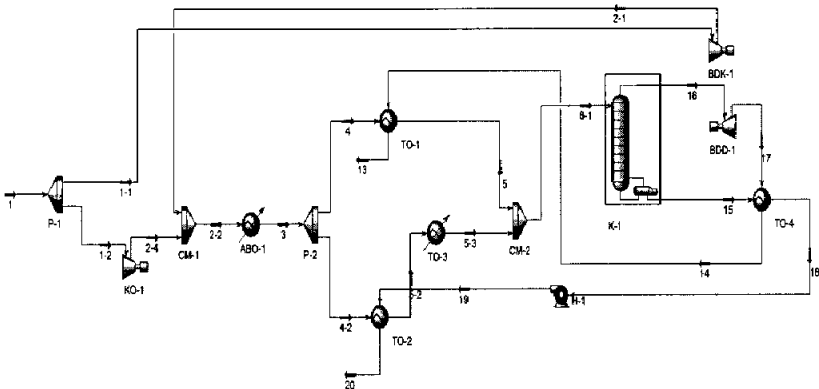


Рис. 17. Схема блоку поділу газу з ректифікаційною колоною без конденсатора

Таблиця 2

Компонентний склад продуктів, одержуваних на виході з блоку поділу вуглеводневих сумішей, мол.%

Компонент газової суміші	Продукт 1	Продукт 2
CH ₄	99,98	37,56
H ₂	0,0	1,96
CO	0,02	42,87
N ₂	0,0	17,61

Розроблена математична модель процесу поділу багатоконпонентних вуглеводневих сумішей в ректифікаційній колоні і математичні моделі інших функціональних елементів, які обслуговують процес поділу, дозволяють шляхом чисельного моделювання здійснювати аналіз роботи енерготехнологічної установки з подальшою оптимізацією її параметрів з метою підвищення ефективності цього процесу і зниження енергетичних витрат при газифікації відходів.

У сьомому розділі викладені результати енергетичного і економічного аналізу запропонованої плазмової технології утилізації твердих вуглецевмісних відходів.

Плазмова технологія утилізації твердих вуглецевмісних відходів передбачає великі витрати електроенергії на відміну від процесів високотемпературного піролізу або газифікації, які використовують як паливо одержуваний газ. Основними факторами, які перешкоджають широкому промислового використання плазмових технологій для переробки відходів, є недостатньо великий ресурс роботи генераторів низькотемпературної плазми, а також той факт, що плазмовий дугового розряд є відносно локальним джерелом нагрівання. З іншого боку експериментально доведено, що плазмова технологія утилізації виключає утворення діоксинів і фуранів, а синтез-газ, отриманий при плазмовій технології утилізації більш калорійний, ніж при традиційній газифікації. Тому в роботі проведено порівняльну оцінку енергетичних і економічних показників звичайної технології газифікації відходів (технологія 1) і екологічно безпечної технології утилізації відходів, запропонованої в цій роботі (технологія 2).

Для проведення енергетичної оцінки доцільності застосування запропонованої технології порівняльний розрахунок проводився з стандартних умов, а саме був обраний найбільш типовий варіант і вид відходів – переробка твердих побутових відходів продуктивністю 1,6 т/добу (66,8 кг/год., 529 т/рік). При звичайній газифікації відходів (технологія 1) продуктами є паливний газ в кількості 60 кг/год. і шлак – 6,8 кг/год., при технології 2 – скраплений або газоподібний метан при тиску 22 МПа (91,53 % метану) – 17,72 кг/год., скраплений або газоподібний синтетичний газ (83,48 % метану) – 7,52 кг/год., паливний газ 34,76 кг/год., шлак – 6,8 кг/год.

Для зіставлення показників двох технологій кількість тепла виражалося в кількості еквівалентної електроенергії. Розрахунки показали, що електроенергія, вироблена при реалізації технології 1 в паровому циклі складає 868 кВт·год./т сировини, в газотурбінному циклі – 1221 кВт·год./т сировини, а при реалізації технології 2 – 348 кВт·год./т сировини і 489 кВт·год./т сировини відповідно.

Як критерій економічної оцінки застосування запропонованої технології було обрано порівняння технологій за оцінкою прибутку і термінів окупності установок. Всі розрахунки виконані в доларах США і наведені на тонну сировини, що переробляється. Порівняння показників двох технологій ілюструє, що при звичайній газифікації відходів прибуток становить \$ 12615, а при запропонованій екологічно безпечній технології утилізації відходів – \$ 20534,5, що в 1,6 рази більше. Термін окупності однаковий і становить 8,6 років.

З розрахунків видно, що багато в чому економічні показники залежать від достовірності розрахунку капітальних вкладень. Для перевірки були проведені додаткові розрахунки економічних показників. Оцінка капітальних вкладень здійснювалася з розрахунку 60 \$/т сировини, а для установки плазмової обробки становить 76,8 \$/т, що становить співвідношення 1,3 рази, що менше, ніж прийняте нами раніше. Всі інші розрахунки виконані у відповідності зі стандартною методикою. Термін окупності в цьому випадку склав 2,9 років.

Результати розрахунків показали, що термін окупності однаковий в обох випадках, однак прибуток, одержуваний в установці з отриманням енергоносіїв вищий за прибуток при звичайній газифікації з отриманням тільки електроенергії. Отже, після завершення терміну окупності обладнання, прибуток, одержуваний на установці, що використовує плазмову технологію з подальшим метануванням і поділом синтез-газу буде в 1,6 рази більше, ніж у звичайній газифікації.

Крім того запропонована екологічно безпечна технологія утилізації відходів дозволяє компенсувати добові й сезонні нерівномірності споживання електроенергії та тепла шляхом створення придатних для зберігання і подальшої реалізації енергоносіїв. Установа забезпечує екологічно чисте перероблення шлаків, які не потребують додаткових технологічних операцій і можуть бути використані у будівництві.

Описана технологія утилізації відходів дозволяє шляхом газифікації, а також плазмового оброблення одержуваного генераторного газу з подальшим метануванням, отримати газ, збагачений метаном. Поділ цього газу дає енергоносії, придатні до реалізації та зберігання. Крім того, в результаті перероблення відході також утворюється твердий продукт, який може бути використаний в будівельній індустрії. Процес є екологічно чистим, тому що запобігає утворенню шкідливих і отруйних компонентів у газових й твердих продуктах. Оцінка економічного ефекту від застосування цієї установки показує, що при переробленні 1600 кг відходів на добу забезпечується 36,7 тис. \$/рік, а термін окупності капітальних вкладень не перевищує 2,9 років.

ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі на підставі виконаних теоретичних і експериментальних наукових досліджень та узагальнення отриманих результатів вирішена важлива науково-практична проблема забезпечення екологічної безпеки при утилізації твердих вуглецевмісних відходів. Зокрема:

1. На основі принципу багаторівневої декомпозиції розроблено методологічний підхід до створення ефективних екологічно безпечних технологій утилізації твердих вуглецевмісних відходів та засобів її реалізації. Запропоновано методологічні аспекти управління екологічною безпекою при поводженні з твердими вуглецевмісними відходами з можливістю отримання продукції цільового призначення.

2. Доведено, що раціональним способом забезпечення екологічної безпеки технологічного процесу утилізації твердих вуглецевмісних відходів є застосування технології утилізації на основі поетапного високотемпературного оброблення сировини, що забезпечує зниження витрат електроенергії й утрат, які

пов'язані з викидом паливного газу, який може бути вторинним енергетичним ресурсом. Зменшення витрат електроенергії відбувається завдяки розділенню процесу газифікації на два етапи: газифікації у термохімічному газогенераторі й додатковій газифікації в плазмовому газогенераторі.

3. З використанням результатів дистанційного зондування земної поверхні створено систему оперативного виявлення місць несанкціонованого скупчення відходів, яка дозволяє визначати характер відходів і динаміку розвитку звалища. Систему апробовано на Дергачівському полігоні - виявлено ареали з переважанням вуглецевмісних матеріалів, в період з серпня 2013 р. до жовтня 2014 р., встановлено збільшення площі саме вуглецевмісних матеріалів з 29,6 тис. м² до 162,1 тис. м².

4. Розроблено модель технологічного процесу екологічно безпечної технології утилізації твердих вуглецевмісних відходів, реалізація якої виключає можливість утворення високомолекулярних токсичних викидів, що пов'язане з газифікацією відходів при температурі близько 1200 °С й різким охолодженням одержаного генераторного газу. Обґрунтовано застосування низькотемпературного поділу отриманих при газифікації відходів багатокомпонентних газових сумішей, що дозволяє не тільки використовувати одержаний енергоносіє для підтримання процесу газифікації, а й враховує добову і сезонну нерівномірність споживання енергії та дозволяє отримувати метановмісний енергоносіє, придатний для зберігання.

5. Встановлено закономірності процесу випарного охолодження газу з використанням математичної моделі, що дозволило запропонувати конструктивні рішення випарного теплообмінника, який забезпечує реалізацію екологічно безпечної утилізації відходів. Обґрунтовано конструктивні рішення термохімічної печі, спираючись на закони тепломасообміну з урахуванням екстремальних температурних умов, створених генераторами плазми як джерела тепла. Розроблено схему енерготехнологічної установки низькотемпературного поділу багатокомпонентних вуглеводневих сумішей, як виконавчої частини системи управління екологічною безпекою процесу утилізації твердих вуглецевмісних відходів. Встановлено компонентний склад енергопотоків з використанням системи рівнянь матеріального і енергетичного балансу для стаціонарного режиму роботи установки. Два потоки з високим масовим вмістом метану 91,5 % і 83,4 % є аналогом автомобільного компримованого природного газу, а третій газовий потік – придатний для підтримання процесу газифікації відходів. Вдосконалено автоматизовану систему управління технологічним процесом утилізації відходів, що дозволяє здійснювати моніторинг всіх його етапів і забезпечує можливість інтегрування її у загальну систему забезпечення екологічної безпеки.

6. З використанням чисельного моделювання встановлено раціональний режим процесу охолодження генераторного газу, при якому виключено утворення діоксинів, фуранів тощо. Визначені температурні режими, при яких проходить процес розпаду сировини на молекулярному та атомарному рівні, а також фізичні параметри процесу охолодження одержаного газу, такі як швидкість, час, та режим подачі охолоджуючої рідини. Найбільш раціональним є режим охолодження, при якому зниження температури газу з 1200 °С до 305,8 °С відбувається за 1,32 с.

7. Проведено оцінку ефективності запропонованої технології утилізації твердих вуглецевовмісних відходів та доведено її перспективність з точки зору мінімізації енергетичних витрат, оскільки плазмовій обробці піддається не більше 20 % маси сировини. Встановлено, що економічний ефект від застосування розробленої установки при переробленні 1,8 т відходів на добу становить 36,7 тис. доларів на рік, при цьому термін окупності капітальних вкладень не перевищує 2,9 років. Доведено переваги запропонованої екологічно безпечної технології утилізації відходів перед звичайною газифікацією навіть без урахування екологічної безпеки одержаного твердого залишку.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Монографії:

1. Сучасні методи підвищення екологічної безпеки експлуатації енергетичних установок: монографія [Текст] / С. О. Вамболь, О. П. Строков, В. В. Вамболь, О. М. Кондратенко. – Х.: НУЦЗУ, 2015. – 234 с.
2. Утилизация летательных аппаратов [Текст]: монография / Н. В. Нечипорук, В. Н. Кобрин, В. В. Вамболь, Е. А. Полищук. – Х.: Нац. аэрокосм. ун-т «Харьк. авиац. ин-т», 2014. – 304 с.

Статті в іноземних виданнях:

3. Вамболь, В. В. Обеспечение экологической безопасности при обращении с отходами [Текст] / В. В. Вамболь, В. Н. Кобрин, Н. В. Нечипорук // Междунар. науч.-исслед. журнал. – Екатеринбург, 2014. – № 11-2 (30). – С. 8–10.
4. Вамболь, В. В. Моделирование газодинамических процессов в блоке охлаждения генераторного газа установки для утилизации отходов [Электронный ресурс] / В. В. Вамболь // Технологии техносферной безопасности: интернет-журнал. – 2015. – Вып. 1 (59). – <http://ipb.mos.ru/ttb>.
5. Шмандий, В. М. Системный подход к решению задачи управления экологической безопасностью при утилизации отходов жизнедеятельности [Текст] / В. М. Шмандий, В. В. Вамболь // Проблемы рекультивации отходов быта, промышленного и сельскохозяйственного производства: сб. статей по материалам IV Междунар. науч. экологич. конф. – Краснодар, Кубанский госагроуниверситет, 2015. – Ч. 2. – С. 680–685.
6. Вамболь, С. А. Выявление источников формирования экологической опасности с использованием геоинформационных систем [Текст] / С. А. Вамболь, В. В. Вамболь, С. С. Зинченко // Пожарная безопасность: проблемы и перспективы: сб. статей по материалам VI Всерос. науч.-практ. конф.: в 2-х ч. – Воронеж: ФГБОУ ВО Воронежский институт ГПС МЧС России, 2015. – Ч. 1. – С. 40–44.
7. Vambol, S. A. Economic and energetical analysis of improved waste utilization plasma technology [Text] / S. A. Vambol, V. V. Vambol // Economy and Sociology. – Chisinau Republic of Moldova: National Institute For Economic Research, 2015. – № 3. – P. 31–38.
8. Вамболь, В. В. Идентификация углеродсодержащих органических материалов на несанкционированных местах скопления отходов [Текст] / В. В. Вамболь // Проблемы обеспечения безопасности при ликвидации последствий

чрезвычайных ситуаций: сб. статей по материалам IV Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. уч.: в 2-х ч. – Воронеж ФГБОУ ВПО Воронежский институт ГПС, 2015. – Ч. 1. – С. 72–75.

9. Shmandij, V. M. Conceptual basis of creation of ecological safety management model, which uses multiphase dispersed structures [Текст] / V. M. Shmandij, V. V. Vambol', O. M. Kondratenko // Вестник Кокшетауского технического института Комитета по чрезвычайным ситуациям МВД Республики Казахстан. – Кокшетау: КТИ КЧС МВД РК, 2016. – № 1 (21). – С. 55–61.

Статті у фахових наукових виданнях:

10. Утилизация отходов методом плазменной газификации [Текст] / С. И. Планковский, В. Н. Кобрин, Н. В. Нечипорук, В. В. Вамболь // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии. – Х.: Нац. аэрокосм. ун-т «Харьк. авиац. ин-т», 2007. – Вып. 34. – С. 208–211.

11. Чубенко, А. С. Экологически чистая утилизация отходов жизнедеятельности [Текст] / А. С. Чубенко, В. Н. Кобрин, В. В. Вамболь // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии. – Х.: Нац. аэрокосм. ун-т «Харьк. авиац. ин-т», 2013. – Вып. 62. – С. 98–102.

12. Кобрин, В. Н. Система управления экологической безопасностью при утилизации твердых бытовых и производственных отходов [Текст] / В. Н. Кобрин, Н. В. Нечипорук, В. В. Вамболь // Екологічна безпека. – Кременчук: КрНУ, 2014. – 2/2014 (18). – С. 25–30.

13. Вамболь, В. В. Численное моделирование процесса охлаждения генераторного газа установки утилизации твердых бытовых и опасных отходов [Текст] / В. В. Вамболь, В. Е. Костюк, Е. И. Кирилаш // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии. – Х.: Нац. аэрокосм. ун-т «Харьк. авиац. ин-т», 2014. – Вып. 66. – С. 178–187.

14. Вамболь, В. В. Математическое моделирование газовой фазы охлаждения генераторного газа установки утилизации отходов жизнедеятельности [Текст] / В. В. Вамболь // Вісник Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського: зб. наук. пр. – Кременчук: КрНУ, 2014. – № 6/2014 (89). – Ч. 1. – С. 148–152.

15. Вамболь, В. В. Математическое описание процесса охлаждения генераторного газа при утилизации отходов жизнедеятельности [Текст] / В. В. Вамболь, В. Е. Костюк, Е. И. Кирилаш // Технологический аудит и резервы производства. – Х., 2015. – № 2/4 (22). – С. 23–29.

16. Вамболь, В. В. Выбор структуры и параметров газокапельного потока в блоке охлаждения газа, полученного при термической обработке отходов [Текст] / В. В. Вамболь, В. Е. Костюк, Е. И. Кирилаш // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии. – Х.: Нац. аэрокосм. ун-т «Харьк. авиац. ин-т», 2015. – Вып. 67. – С. 186–196.

17. Вамболь, В. В. Математическое моделирование дисперсной фазы охлаждения генераторного газа установки утилизации отходов жизнедеятельности [Текст] / В. В. Вамболь // Вісник Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського: зб. наук. пр. – Кременчук: КрНУ, 2015. – № 2/2015 (91). – С. 165–169.

18. The systematic approach to solving the problem of management of ecological safety during process of biowaste products utilization [Text] / V. Vambol', V. Shmandij, S. Vambol', O. Kondratenko // Екологічна безпека. – Кременчук: КрНУ, 2015. – Вип. 1/2015 (19). – С. 7–11.

19. Методологический подход к построению системы управления экологической безопасностью эксплуатации энергетических установок [Текст] / С. А. Вамболь, А. П. Строков, В. В. Вамболь, А. Н. Кондратенко // Двигатели внутреннего сгорания: науч.-техн. журнал. – Х., НТУ «ХП», 2015. – № 1. – С. 48–52.

20. Шахов, Ю. В. Математическая модель энерготехнологической установки для разделения многокомпонентных газовых смесей [Текст] / Ю. В. Шахов, И. И. Петухов, В. В. Вамболь // Вісник НТУ «ХП»: зб. наук. пр. – Серія: Математичне моделювання в техніці та технологіях. – Х.: НТУ «ХП», 2015. – № 41(1150). – С. 134–139.

21. Вамболь, В. В. Мониторинг несанкционированных мест скопления отходов с использованием космических снимков [Текст] / В. В. Вамболь, В. М. Шмандий, Д. Л. Крета // Технологический аудит и резервы производства. – Х., 2015. – № 5/6 (25). – С. 42–45.

22. Дога, В. С. Экономический анализ усовершенствованной технологии плазменной утилизации отходов [Текст] / В. С. Дога, В. В. Вамболь // Вісник Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського: зб. наук. пр. – Кременчук: КрНУ, 2015. – № 5/2015 (94). – С. 136–141.

23. Вамболь, В. В. Энергетический анализ усовершенствованной технологии плазменной утилизации отходов [Текст] / В. В. Вамболь // Екологічна безпека. – Кременчук: КрНУ, 2015. – Вип. 2/2015 (20). – С. 63–68.

24. Кондратенко, А. Н. Функции системы управления экологической безопасностью эксплуатации энергетических установок [Текст] / А. Н. Кондратенко, С. А. Вамболь, В. В. Вамболь // Науковий вісник ХНАДУ – Х.: ХНАДУ, 2015. – Вип. 69. – С. 95–100.

25. Матмодель расчета сепаратора и компрессора блока разделения газовых смесей при утилизации отходов [Текст] / С. А. Вамболь, Ю. В. Шахов, И. И. Петухов, В. В. Вамболь // Технологический аудит и резервы производства. – Х., 2016. – № 1 (27). – С. 17–26.

26. Математическое описание процессов разделения газовых смесей образующихся при термической утилизации отходов [Текст] / С. А. Вамболь, Ю. В. Шахов, И. И. Петухов, В. В. Вамболь // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – Х., 2016. – № 1/2(79). – С. 32–42.

27. Вамболь, В. В. Идентификация источников формирования экологической опасности в местах несанкционированного скопления отходов [Текст] / В. В. Вамболь // Вісник Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського: зб. наук. пр. – Кременчук: КрНУ, 2016. – № 1/2016 (96). – С. 122–128.

Патенти:

28. Патент № 96684 Україна, МПК F23G 5/027 (2006.01). Спосіб утилізації твердих відходів виробництва / Кривцов В. С., Нечипорук М. В., Вамболь В. В. та ін.; Заявник і патентоволодар Національний аерокосмічний університет

ім. М. С. Жуковського «Харківський авіаційний інститут». – № а201008094; заявл. 29.06.2010; опубл. 25.11.2011, Бюл. № 22. – 3 с.: ил.

Тези доповідей:

29. Вамболь, В. В. Утилизация авиационной техники и охрана окружающей среды [Текст] / Н. В. Нечипорук, В. В. Вамболь, Н. В. Кобрина // Охорона навколишнього середовища промислових регіонів як умова сталого розвитку України: тези доп. II Всеукр. наук.-практ. конф. – Запоріжжя, 2006. – С. 92–94.

30. Вамболь, В. В. Утилизация элементов аэрокосмической техники, выполненных из композиционных материалов [Текст] / В. В. Вамболь, С. И. Планков-ский, Н. В. Кобрина // Охорона навколишнього середовища промислових регіонів як умова сталого розвитку України: тези доп. II Всеукр. наук.-практ. конф. – Запоріжжя, 2006. – С. 95–97.

31. Вамболь, В. В. Обеспечение экологической безопасности при утилизации РДТТ [Текст] / В. В. Вамболь, Н. В. Нечипорук, С. А. Вамболь // Можливості використання методів механіки для розв'язання питань безпеки в умовах надзвичайних ситуацій: матеріали VI Міжвуз. наук.-практ. конф. – Х., УЦЗУ, 2007. – С. 27–28.

32. Вамболь, В. В. К вопросу утилизации композиционных материалов с применением плазменной газификации [Текст] / В. В. Вамболь, Н. В. Нечипорук, Н. В. Кобрина, Е. А. Полищук // Можливості використання методів механіки для розв'язання питань безпеки в умовах надзвичайних ситуацій : матеріали VII Міжвуз. наук.-практ. конф. – Х. : УЦЗУ, 2008. – С. 4–5.

33. Вамболь, В. В. Плазменная газификация при утилизации элементов летательных аппаратов из полимерных композиционных материалов [Текст] / В. В. Вамболь, Д. Н. Макаренко // Можливості використання методів механіки для розв'язання питань безпеки в умовах надзвичайних ситуацій : матеріали IX Міжвуз. наук.-практ. конф. – Х. : НУЦЗУ, 2010. – С. 64–65.

34. Вамболь, В. В. Экологический мониторинг малых предприятий [Текст] / В. В. Вамболь, Кобрин В. Н., Овчаров А. В. // Можливості використання методів механіки для розв'язання питань безпеки в умовах надзвичайних ситуацій : матеріали IX міжвуз. наук.-практ. конф. – Х. : НУЦЗУ, 2011. – С. 40–41.

35. Разработка технологии получения альтернативных видов топливoproдуктов с использованием плазменной обработки медико-биологических и токсичных отходов [Текст] / Н. В. Нечипорук, В. Н. Кобрин, В. Ш. Эрсамбетов, В. В. Вамболь // Проблеми створення та забезпечення життєвого циклу авіаційної техніки : тези доп. міжнар. наук.-техн. конф. – Х. : ХАІ, 2012. – С. 140.

36. Вамболь, В. В. Разработка плазменного газогенератора установки для утилизации отходов жизнедеятельности [Текст] / В. Ш. Эрсамбетов, В. Н. Кобрин, В. В. Вамболь // Проблеми створення та забезпечення життєвого циклу авіаційної техніки : тези доп. міжнар. наук.-техн. конф. – Х. : ХАІ, 2013. – С. 134.

37. Вамболь, В. В. Разработка конструкции термохимического газогенератора с плазменным дожиганием [Текст] / В. Ш. Эрсамбетов, Н. В. Нечипорук,

В. В. Вамболь // Проблемы створення та забезпечення життєвого циклу авіаційної техніки : тези доп. міжнар. наук.-техн. конф. – Х. : ХАІ, 2013. – С. 135.

38. Вамболь, В. В. Метанирование генераторного газа, полученного при газификации отходов [Текст] / В. Н. Кобрин, Н. В. Нечипорук, В. В. Вамболь // Проблемы створення та забезпечення життєвого циклу авіаційної техніки : тези доп. міжнар. наук.-техн. конф. – Х. : ХАІ, 2014. – С. 72.

39. Вамболь, В. В. Экологически чистая переработка отходов с последующим метанированием продуктов плазменной газификации [Текст] / В. В. Вамболь, А. С. Чубенко // Проблемы техносферной безопасности : материалы 3-й Междунар. науч.-практ. конф. молодых ученых и специалистов. – М. : Академия ГПС МЧС России, 2014. – С. 230–232.

40. Вамболь, В. В. Пути утилизации медицинских отходов [Текст] / В. В. Вамболь, С. С. Зинченко // Проблемы екологічної безпеки : матеріали Міжнар. наук.-техн. конф. – Кременчук, КрНУ. – 2014. – С. 32.

41. Вамболь, В. В. Возможность рациональной утилизации опасных отходов [Текст] / В. В. Вамболь, В. М. Кобрин, М. В. Нечипорук // Проблемы екологічної безпеки : матеріали Міжнар. наук.-техн. конф. – Кременчук: КрНУ, 2014. – С. 37.

42. Вамболь, В. В. Получение топливных продуктов при утилизации опасных ТБО [Текст] / В. В. Вамболь, С. С. Зинченко // Тези доповідей Всеукраїнської науково-технічної конференції «Інтегровані комп'ютерні технології в машинобудуванні ІКТМ-2014». Х., ХАІ, – 2014. – С. 13.

43. Вамболь, В. В. Методологический подход обеспечение экологической безопасности физико-химического процесса утилизации композиционных материалов [Текст] / В. В. Вамболь, В. М. Шмандій, Т. Є. Рігас // Теория и практика тушения пожаров и ликвидации чрезвычайных ситуаций : VI Міжнар. наук.-пр. конф. – Черкаси : НУЦЗУ, 2014. – С. 331.

44. Вамболь, В. В. Снижение уровня диоксидов при утилизации отходов [Текст] / В. В. Вамболь // Проблемы безопасности при ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций : материалы Всерос. науч.-практ. конф. – Воронеж, 2014. – С. 175–177.

45. Вамболь, В. В. Аспекты безопасности при обращении с отходами жизнедеятельности [Текст] / В. В. Вамболь, А. С. Чубенко // Стратегия «Казахстан-2050»: совершенствование системы защиты от чрезвычайных ситуаций, развитие научных исследований в сфере безопасности и жизнедеятельности населения: материалы II науч.-практ. конф. курсантов и студентов. – Кокшетау, Казахстан, 2014. – С. 301–303.

46. Вамболь, В. В. Раннее обнаружение несанкционированных мест складирования отходов, как способ предупреждения техногенных ЧС [Текст] / В. В. Вамболь, С. С. Зинченко // Обеспечение безопасности жизнедеятельности: проблемы и перспективы: сб. материалов Междунар. науч.-практ. конф. молодых ученых – Минск : КИИ, 2015. – С. 29.

47. Вамболь, В. В. Способ раннего обнаружения несанкционированных мест складирования отходов [Текст] / В. В. Вамболь, С. С. Зинченко // Роль местной противовоздушной обороны и пожарной охраны в годы великой

отечественной войны : сб. материалов Междунар. науч.-практ. конф. – Кокшетау: КТИ КЧС МВД РК, 2015. – С. 84–88.

48. Вамболь, В. В. Управление отходами на торговом предприятии [Текст] / В. В. Вамболь, Ю. С. Лещенко // Роль местной противовоздушной обороны и пожарной охраны в годы великой отечественной войны : сб. материалов Междунар. науч.-практ. конф. – Кокшетау: КТИ КЧС МВД РК, 2015. – С. 153–155.

49. Шмандий, В. М. Дистанционное зондирование и методы математического моделирования в задаче мониторинга несанкционированных мест скопления отходов [Текст] / В. М. Шмандий, С. А. Вамболь, В. В. Вамболь // Проблеми екологічної безпеки : сб. матеріалів XIII Міжнар. наук.-техн. конф. – Кременчук : КрНУ, 2015. – С. 15.

50. Нечипорук, Н. В. Математическое описание разделения многокомпонентных газовых смесей, полученных при газификации отходов [Текст] / Н. В. Нечипорук, Ю. В. Шахов, В. В. Вамболь // Проблеми екологічної безпеки : XIII Міжнар. наук.-техн. конф. – Кременчук : КрНУ, 2015. – С. 27.

51. Дога, В. С. Экономическая оценка технологического процесса усовершенствованной технологии плазменной газификации отходов [Текст] / В. С. Дога, В. В. Вамболь // Прикладні аспекти техногенно-екологічної безпеки: Міжнар. наук.-практ. конф. – Х.: НУЦЗУ, 2015. – С. 92–93.

52. Нечипорук, Н. В. Технологические устройства высокотемпературного пиролиза для систем управления экологической безопасностью [Текст] / Н. В. Нечипорук, В. В. Вамболь // Прикладні аспекти техногенно-екологічної безпеки: міжнар. наук.-практ. конф. – Х.: НУЦЗУ, 2015. – С. 138–139.

53. Шмандий, В. М. Дистанционное зондирование земли в системе управления экологической безопасностью [Текст] / В. М. Шмандий, В. В. Вамболь, С. А. Вамболь // Прикладні аспекти техногенно-екологічної безпеки: Міжнар. наук.-практ. конф. – Х.: НУЦЗУ, 2015. – С. 96–97.

54. Вамболь, С. А. Методологический подход к построению системы управления экологической безопасностью эксплуатации энергетических установок [Текст] / С. А. Вамболь, А. П. Строков, В. В. Вамболь, А. Н. Кондратенко // XX – Міжнарод. конгрес двигунобудівників. – Х.: ХАІ, 2015. – С. 45.

Роботи [4, 8, 14, 17, 23, 27, 44] опубліковані без співавторів.

У працях, створених у співавторстві, автором виконано таку роботу:

[1, 2, 5, 9, 18, 19, 24, 43, 54] – автору належить розробка методологічного підходу до створення системи управління екологічною безпекою;

[2, 10, 28, 39–41] – автору належить наукова ідея екологічно безпечної утилізації відходів на основі технології високотемпературної газифікації;

[1, 36, 37, 52] – автору належить обґрунтування конструктивних рішень технологічних пристроїв, що забезпечують реалізацію екологічно безпечної утилізації відходів й розробка практичних рекомендацій щодо їх застосування;

[12, 29, 30–33] – автору належить наукова ідея утилізації полімерних матеріалів з використанням високотемпературних технологій й обґрунтування подальших напрямків досліджень;

[13, 15, 16] – автору належить науково-технічна ідея випарного охолодження генераторного газу та теоретичне моделювання газодинамічних процесів його охолодження;

[20, 25, 26, 50] – автору належить науковий підхід до розробки математичних моделей поділу багатокомпонентних газових сумішей, одержаних при утилізації відходів та теоретичне моделювання окремих процесів;

[6, 46, 48] – автору належить обґрунтування напрямку дослідження можливості використання ГІС-технологій для виявлення несанкціонованих місць накопичення відходів та їх ідентифікації як джерел формування екологічної небезпеки;

[21, 47, 49, 53] – автором запропоновано вдосконалення системи дистанційного виявлення звалищ відходів;

[7, 22, 51] – автору належить обґрунтування напрямку дослідження й обробка результатів оцінки економічної ефективності удосконаленої технології утилізації відходів;

[7] – автору належить обґрунтування напрямку дослідження й обробка результатів оцінки енергетичної ефективності удосконаленої технології утилізації відходів;

[11, 35, 38, 42] – автору належить науково-технічна розробка раціональних технологічних процесів;

[3, 45] – автору належить обґрунтування напрямку досліджень процесу утворення джерел екологічної небезпеки під час утилізації вуглецевмісних відходів й обробка результатів.

АНОТАЦІЯ

Вамболь В. В. Наукові засади екологічно безпечної технології утилізації твердих вуглецевмісних відходів. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 21.06.01 – Екологічна безпека. – Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського Міністерства освіти і науки України, Кременчук, 2016.

Дисертаційна робота присвячена вирішенню науково-прикладної проблеми створення екологічно безпечної технології утилізації твердих вуглецевмісних відходів. В роботі визначено, найбільш перспективним і одночасно ефективним способом забезпечення екологічної безпеки при утилізації й вторинної переробки твердих вуглецевмісних відходів запропоновану технологію, що базується на запобіганні утворення діоксинів й отриманні енергетичної сировини.

На основі принципу багаторівневої декомпозиції розроблено методологічний підхід до дослідження, створення ефективної екологічно безпечної технології утилізації твердих вуглецевмісних відходів й засобів для її реалізації. Запропоновано методику для оперативного виявлення місць несанкціонованого скупчення відходів, яка дозволяє визначити характер відходів і динаміку розвитку звалища на широкодоступних даних дистанційного зондування Землі (а саме Google Earth). За результатами чисельного моделювання, доведена можливість реалізації екологічно безпечного процесу утилізації твердих вуглецевмісних

відходів. Запропоновано технологічну схему і на її основі виконано розробку і створення енерготехнологічного обладнання, що дає можливість отримати компримований продукт із високим вмістом метану, достатнім для використання його як моторне паливо та паливний газ для підтримання процесу поетапного високотемпературного оброблення відходів. Доведено енергетичну і економічну ефективність запропонованої технології.

Практична значимість роботи підтверджена патентом на винахід та актами впровадження у виробничий і навчальний процес.

Ключові слова: екологічна безпека, тверді вуглецевмісні відходи, моніторинг, утилізація, газифікація, метанування, низькотемпературний поділ, методологія.

АННОТАЦІЯ

Вамболь В. В. Научные основы экологически безопасной утилизации твердых углеродсодержащих отходов. - Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 21.06.01 – Экологическая безопасность. – Кременчугский национальный университет имени Михаила Остроградского Министерства образования и науки Украины, Кременчуг, 2016.

Диссертация посвящена решению научно-прикладной проблемы создания экологически безопасной утилизации твердых углеродсодержащих отходов.

В работе было определено, что наиболее перспективным и одновременно эффективным способом обеспечения экологической безопасности в процессе утилизации и вторичной переработки твердых углеродсодержащих отходов является применение предлагаемой технологии, основанной на предотвращении образования диоксинов и получения энергетического сырья.

На основе принципа многоуровневой декомпозиции формализована задача рационального управления экологической безопасностью при утилизации твердых углеродсодержащих отходов, описаны функции технологической системы утилизации. С учетом положений системного подхода к решению сложных проблем, а также специфических особенностей создания системы управления экологической безопасностью при утилизации твердых углеродсодержащих отходов предложена методология решения задачи управления экологической безопасностью с учетом получения продукции целевого назначения.

Для предотвращения накопления отходов на несанкционированных свалках и обеспечения полноты их сбора проведен анализ возможности использования широкодоступных данных дистанционного зондирования Земли и ГИС-технологий для оперативного выявления этих мест. В работе определены существующие на сегодняшний день методы дешифрования космических снимков и их применение решения близких экологических задач. Выявлено, что известные способы не позволяют идентифицировать отходы по степени их опасности. Предложен способ определения ареалов углеродсодержащей составляющей свалки путем исключения («вырезания») со снимка участков свалки с низкой степенью опасности, таких, как строительный мусор и породные массы. Представлена общая модель автоматизированного распознавания участков с преобладанием

углеродсодержащей составляющей на территории свалке.

В работе разработаны математические модели газовой и дисперсной фазы, а также представлено математическое описание межфазного взаимодействия при охлаждении генераторного газа. Использование классической теории газодинамики позволило получить математические соотношения, описывающие газовую и дисперсную фазы. Для решения полученной системы уравнений учтено двухстороннее взаимодействие путем поочередного решения уравнений дисперсной и непрерывной фаз до тех пор, пока решения обеих фаз не установятся. Результаты численного моделирования позволили разработать устройство охлаждения генераторного газа, как элемента установки для утилизации отходов, и определить наиболее рациональные режимы его работы в целях повышения уровня экологической безопасности регионов.

Разработанная математическая модель, реализующая алгоритм расчета процесса разделения многокомпонентных углеводородных смесей, образующихся при газификации отходов, позволяет путем численного моделирования осуществлять анализ работы энерготехнологической установки с последующей оптимизацией ее параметров в целях повышения эффективности и снижения энергетических затрат при газификации отходов. При математическом описании процессов были использованы общепринятые соотношения технической термодинамики. Параметры ректификационной колонны, рассчитанные с использованием предложенной математической модели, подтверждают возможность практической реализации предложенной схемы ЭТУ.

В результате использования установки низкотемпературного разделения многокомпонентных углеводородных смесей могут быть получены три потока энергоносителей. Потоки с высоким массовым содержанием метана 91,5 % и 83,4 % представляют собой сжатый продукт и могут быть использованы как моторное топливо, аналог автомобильного сжатого природного газа. Третий газовый поток пригодный для поддержания процесса газификации отходов.

В работе показана энергетическая и экономическая эффективность применения предложенной технологии утилизации твердых углеродсодержащих отходов. Данная технология в отличие от существующих, не только позволяют использовать полученный энергоноситель для поддержания процесса утилизации, но и учитывает суточную и сезонную неравномерность потребления энергии и позволяет производить метансодержащий энергоноситель, пригодный для хранения.

Практическая значимость диссертационной работы подтверждена патентом на изобретение, а также актами внедрения в производственный и в учебный процессы.

Ключевые слова: экологическая безопасность, твердые углеродсодержащие отходы, методология, мониторинг, утилизация, газификация, метанирование, низкотемпературное разделение.

ABSTRACT

Vambol V. V. Scientific basis for the environmentally safe disposal of solid carbonaceous wastes. – Manuscript.

Thesis for Doctor of Technical degree Dissertation. Specialization 21.06.01 – Ecological safety. Kremenchuk Mykhailo Ostrohredskyi National University, Kremenchuk, 2016.

Dissertation is devoted to solving scientific and applied problems of creation of environmentally safe disposal of solid carbonaceous wastes. In work, the most promising and at the same time effective way to ensure environmental safety in the disposal and recycling of solid carbonaceous wastes proposed technology, which is based on preventing the formation of dioxins and receipt of energy commodities.

On the basis of the principle of multilevel decomposition developed methodological approach to the study, the creation of an effective environmentally safe disposal of solid carbonaceous wastes and resources for its implementation. A method for rapid detection of unauthorized places of wastes, which allows to determine the nature of the waste and the dynamics of the landfill on the widely available remote sensing data (namely Google Earth). According to the numerical simulation results proved the feasibility of environmentally sound disposal of solid carbonaceous process waste. A process flow diagram and on its basis made the development and creation of energy-technological equipment that allows the use of synthesis gas to maintain the phase-high temperature waste treatment, or after it methanation and low-temperature separation of raw materials for energy flows of gas mixtures. Proved energy and economic efficiency of the proposed technology.

The practical significance of the work is confirmed by a patent for the invention and introduction of acts in the production and training process.

Keywords: ecological safety, solid carbon waste monitoring, recycling, gasification, methanation, low-temperature separation methodology.

ВАМБОЛЬ ВІОЛА ВЛАДИСЛАВІВНА

**НАУКОВІ ЗАСАДИ ЕКОЛОГІЧНО БЕЗПЕЧНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ УТИЛІЗАЦІЇ
ТВЕРДИХ ВУГЛЕЦЕВОВМІСНИХ ВІДХОДІВ**

21.06.01 – екологічна безпека

Автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня
доктора технічних наук

Формат 60x84/16. Ум. друк. арк. 1.9. Тир. 100 прим. Зам. 197-16.
Підписано до друку 22.04.16. Папір офсетний.

Надруковано з макету замовника у ФОП Бровін О.В.
61022, м. Харків, вул. Трінклера, 2, корп.1, к.19. Т. (057) 758-01-08, (066) 822-71-30
Свідоцтво про внесення суб'єкта до Державного реєстру
видавців та виготовників видавничої продукції серія ДК 3587 від 23.09.09 р.

СТИЛЬ®
ИЗДАТ
ТИПОГРАФІЯ
www.stil-izdat.com