

НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ НАУК УКРАЇНИ
ІНСТИТУТ ПРОБЛЕМ МАШИНОБУДУВАННЯ ІМ. А.М. ПІДГОРНОГО

ГОМАН ВІТАЛІЙ ОЛЕКСАНДРОВИЧ



УДК 665.754: 62.611

**ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ПРОЦЕСІВ СТВОРЕННЯ ТА
СПАЛЮВАННЯ КОМПОЗИЦІЙНОГО ПАЛИВА ЗА ДОПОМОГОЮ
ГІДРОКАВІТАЦІЙНОЇ АКТИВАЦІЇ**

Спеціальність 05.14.06 – Технічна теплофізика та промислова теплоенергетика

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Харків – 2019

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Інституті проблем машинобудування ім. А.М. Підгорного Національної академії наук України.

Науковий керівник: доктор технічних наук, старший науковий співробітник
Кравченко Олег Вікторович,
Інститут проблем машинобудування ім. А.М. Підгорного
НАН України,
завідувач відділу нетрадиційних енерготехнологій

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Маляренко Віталій Андрійович,
Харківський національний університет міського
господарства ім. О. М. Бекетова,
професор кафедри систем енергопостачання та
енергоспоживання

кандидат технічних наук, старший науковий
співробітник
Петухов Ілля Іванович,
Національний аерокосмічний університет
ім. М. Є. Жуковського «Харківський авіаційний
інститут»,
доцент кафедри аерокосмічної теплотехніки

Захист відбудеться «24» жовтня 2019 р. о 15³⁰ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 64.180.02 в Інституті проблем машинобудування ім. А. М. Підгорного НАН України за адресою: 61046, м. Харків, вул. Пожарського, 2/10.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Інституту проблем машинобудування ім. А.М. Підгорного НАН України за адресою: 61046, м. Харків, вул. Дм. Пожарського, 2/10 та на веб-сайті інституту за адресою: <http://ipmach.kharkov.ua/спеціалізована-вчена-рада-д-64-180-02/>.

Автореферат розісланий «19» вересня 2019 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради Д 64.180.02
кандидат технічних наук,
старший науковий співробітник



С. В. Альохіна

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Раціональне використання вуглеводневих енергоресурсів, розробка та впровадження ресурсозберігаючих екологічно безпечних технологій паливоспоживання у системах виробництва теплової енергії на даний час є одними з найбільш актуальних завдань теплоенергетичної галузі.

Ефективним вирішенням даних задач може стати часткова заміна традиційних вуглеводневих енергоресурсів на промислових і енергетичних об'єктах новими видами рідких композиційних палив. Останні являють собою стійкі емульсії і суспензії на основі вуглеводнів з можливістю додавання відходів різного походження. До складу таких гідросумішей можуть входити різні промислові стоки або їх концентрати: фенольні стічні води, нафтозмиви, некондиційні вуглеводні, відпрацьовані технологічні рідини нафтовидобутку, відходи вуглезбагачувальних підприємств, очисних споруд, продукти переробки твердих побутових відходів, полімерів, гуми та ін.

Порівняно з традиційними вуглеводнями застосування композиційних палив розв'язує не тільки енергетичну задачу отримання більш дешевої теплової енергії, а й екологічну проблему зниження шкідливих викидів в атмосферу під час спалювання, утилізації або знешкодження відходів, що додаються до складу паливної композиції, вогневим методом.

Високий вміст водної фази у складі паливної суміші значно ускладнює не тільки процеси створення, але й подальшого використання композиційного палива в якості енергоресурсу, оскільки даний показник в значній мірі впливає на стабільність, енергетичні та реологічні властивості отримуваної паливної суміші. При високому вмісті водної фази в'язкість створюваного композиційного палива значно підвищується у порівнянні з вихідними компонентами, що може призводити до погіршення якості диспергування при спалюванні. Дані наслідки негативно впливають на процеси горіння композиційного палива, оскільки при зниженні якості диспергування погіршується сумішеутворення паливних крапель з окиснювачем, що значно знижує ККД енергетичного котла і збільшує кількість шкідливих викидів в атмосферу. При наявності в композиційному паливі твердої фази ресурс розпилюючих пристроїв значно знижується через абразивне зношування конструктивних елементів в процесі роботи.

Для забезпечення ефективного горіння з екологічними показниками, що відповідають сучасним нормативам, створення та спалювання композиційного палива потребує застосування спеціальних технологій та пристроїв. Для ефективного розв'язання цих задач необхідне застосування пристроїв, принцип роботи яких ґрунтується на застосуванні гідрокавітаційної активації. Такий підхід дозволяє отримувати паливні суміші з високими споживчими властивостями, здійснювати їх якісне спалювання з поліпшеними енергоекологічними показниками.

Таким чином, підвищення ефективності процесів створення та екологічно безпечного спалювання штучних композиційних рідких палив на основі некондиційних вуглеводнів та промислових відходів з високим вмістом водної

фази є актуальною науково-практичною задачею, на розв'язання якої спрямована дисертаційна робота.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Роботу виконано в Інституті проблем машинобудування ім. А. М. Підгорного НАН України згідно з планами держбюджетних НДР НАН України та МОН України: «Енергоактиваційні технології підвищення ефективності спалювання низькореакційних композиційних палив, створених з відходів виробництва» (ДР № 0113U001772); «Проведення промислових досліджень з енергоефективності та екологічності технології гідрокавітаційної активації вуглеводнів при виробництві й спалюванні композиційного палива на основі активного мулу комунальних очисних споруд» (ДР № 0118U001688); «Застосування методів активації для інтенсифікації фізико-хімічних процесів в паливних технологіях (ДР № 0113U001620), де автор був виконавцем окремих розділів.

Мета і завдання досліджень. Метою дисертаційної роботи є підвищення ефективності процесів створення та екологічно безпечного спалювання штучних композиційних рідких палив (ШКРП), виготовлених на основі некондиційних вуглеводнів і промислових відходів з високим вмістом водної фази, шляхом застосування гідрокавітаційної активації (ГКА).

Для досягнення мети поставлені наступні завдання:

- визначити основні критерії оцінки ефективності використання ГКА і обладнання, що його реалізує, під час створення та спалювання ШКРП на основі вуглеводнів, рідких або вологовмісних відходів з заданими фізико-хімічними та енергоекологічними властивостями;
- провести математичне й комп'ютерне моделювання гідродинаміки потоків в'язкої нестисливої рідини в елементах гідрокавітаційного обладнання для удосконалення існуючих та виготовлення нових зразків ефективних пристроїв створення та розпилювання ШКРП;
- розробити методологію та створити експериментальний енерготехнологічний комплекс для визначення впливу ГКА на теплові, гідродинамічні, фізико-хімічні процеси при виготовленні та спалюванні паливних емульсій і суспензій на основі вуглеводнів та різноманітних вологовмісних відходів;
- експериментально дослідити вплив ГКА під час створення нових видів ШКРП на їх теплофізичні та енергоекологічні властивості;
- провести експериментальні дослідження енергоефективності та екологічної безпеки застосування ГКА в технологіях створення та спалювання ШКРП на основі некондиційних вуглеводнів з додаванням відпрацьованої рідини гідророзриву пласта нафтогазових свердловин, мулових осадів комунальних очисних споруд, а також надати рекомендації з промислового використання гідрокавітаційної активації.

Об'єкт дослідження – гідрокавітаційна активація рідких вуглеводнів в процесах створення та спалювання штучних композиційних рідких палив.

Предмет дослідження – вплив термогідродинамічних і фізико-хімічних процесів в гідрокавітаційних апаратах на енергоефективність, ресурсозбереження

та екологічну безпеку спалювання в енергоустановках нових видів штучних композиційних рідких палив.

Методи дослідження. Для розв'язання поставлених задач у дисертаційній роботі використано комплексний підхід, який включає математичне моделювання теплогідродинамічних процесів в осесиметричних каналах з використанням структурного методу R-функцій, чисельне CFD 3-вимірне моделювання, фізичне моделювання та експериментальні дослідження, в яких використано сучасні методи вимірювання та аналізу: термометричні, калориметричні, хіміко-аналітичні, віскозиметричні, ультразвукові, мікроскопічні, оптичні, об'ємні, масові, спектральні, газоаналітичні, хроматографічні, а також швидкісна оптична реєстрація.

Наукова новизна одержаних результатів:

- Вперше розроблено методологію визначення впливу ГКА на споживчі та енергоекологічні властивості ШКРП з високим вмістом відходів різного походження, використання якої дозволяє встановити ефективні режими роботи обладнання під час створення, розпилювання та спалювання паливних сумішей;
- Вперше виявлено вплив ГКА на теплові, гідродинамічні, фізико-хімічні процеси, енергетичні та екологічні показники процесів створення та спалювання паливних емульсій і суспензій з високим вмістом промислових відходів за допомогою створеного експериментального енерготехнологічного комплексу;
- Вперше визначено необхідний рівень інтенсивності ГКА для отримання ШКРП із заданими споживчими та енергоекологічними властивостями;
- Вперше встановлено залежність теплотворної здатності ШКРП на основі кубових залишків нафтопереробки з додаванням мулових осадів комунальних очисних споруд від режиму гідрокавітаційної обробки під час його виготовлення, що дозволило визначити ефективні режими роботи гідрокавітаційного обладнання при створенні та спалюванні цього виду енергоресурсу.

Практичне значення одержаних результатів:

- Запропоновано та виготовлено новий тип гідрокавітаційного пристрою для обробки рідин (патент України № 113894), який дозволяє отримувати паливні композиції з заданими теплофізичними та високими споживчими властивостями;
- Створено новий тип гідровихрової форсунки-активатора з підвищеним експлуатаційним ресурсом та здатністю розпилювати високов'язкі ШКРП з вмістом твердої фази до 72 % за витрат до 50 кг/год, що відкриває перспективи широкого застосування таких палив в енергоустановках малої потужності;
- Розроблено спосіб виготовлення та спалювання водовугільного палива (патент України № 114935), яке відрізняється високими калорійністю та якістю розпилювання, що забезпечують надійне запалювання та горіння без використання підсвічування під час спалювання, а також низькою в'язкістю і задовільною седиментаційною стійкістю для здійснення трубопровідного транспортування і тривалого зберігання;
- Впроваджено методологію гідрокавітаційної активації під час створення та спалювання ШКРП на основі некондиційних вуглеводнів та мулових осадів комунальних очисних споруд. Промислові випробування, що проведено з

використанням створеного енерготехнологічного комплексу та парового котла Е–1,0–0,9Г–3(Е), який укомплектовано розробленим палинковим пристроєм на основі гідровихрової форсунки, довели ефективність використання ГКА для розв’язання як екологічних проблем утилізації водовмісних відходів, так і економічних – економія до 10 % вуглеводневої сировини під час виробництва теплової енергії.

Особистий внесок здобувача. Усі основні наукові положення та результати теоретичних і експериментальних досліджень, що містяться в дисертаційній роботі, здобувачем одержані особисто. У роботах, які опубліковані у співавторстві, особистий внесок здобувача полягає в наступному: проведено чисельне моделювання гідродинаміки потоків у каналах складної форми гідрокавітаційного пристрою та гідровихрової форсунки з використанням варіаційних методів і структурного методу R-функцій [3, 4, 11-13], за результатами яких розроблено конструкції [6] та виготовлено дослідні зразки обладнання для створення та спалювання ШКРП з високим вмістом водної фази. Розроблено методологію визначення впливу гідрокавітаційної активації [1, 14, 18] на фізико-хімічні, теплофізичні та реологічні властивості отримуваних ШКРП, використання якої дозволило розробити та створити мобільний експериментальний енерготехнологічний комплекс [1, 2, 8, 9] для проведення досліджень впливу ГКА на теплові, гідродинамічні, фізико-хімічні, енергетичні та екологічні показники процесів створення та спалювання композиційних палив. Проведено експериментальні дослідження процесів створення і спалювання ШКРП на основі некондиційних вуглеводнів з додаванням рідких та вологовмісних промислових відходів різноманітного походження [5, 10, 15, 16, 17]. Розроблено спосіб виготовлення водовугільного палива [7] на основі відходів вуглезбагачувальних підприємств з додаванням продуктів переробки гуми, поліетилену та пластмаси.

Апробація результатів дисертації. Основні положення та результати дисертаційної роботи доповідалися на: конференції молодих вчених і спеціалістів «Сучасні проблеми машинобудування» (Харків, 2012, 2013, 2014, 2015, 2016, 2018, 2019); 3-й науково-практичній конференції «Сучасні тенденції і технології видобутку, виробництва, переробки і використання вугільних і вуглеводневих палив у промисловості та енергетиці» (Алушта, 2013); третьому міжнародному геологічному форумі «Актуальні проблеми і перспективи розвитку геології: наука і виробництво» (Коблеве, 2016); V міжнародній науково-практичній конференції молодих вчених та спеціалістів «Інноваційні шляхи модернізації базових галузей промисловості, енерго- і ресурсозбереження, охорона навколишнього природного середовища» (Харків, 2016); 11th Conference of Sustainable Development of Energy, Water and Environment Systems (Lisbon, Portugal, 2016), 6th International Conference of Sustainable Development (Rome, Italy, 2018).

Публікації. Основний зміст дисертації викладено в 18 публікаціях, з яких: 5 статей (3 – в журналах і збірниках, внесених до переліку спеціалізованих видань України, де можуть публікуватися результати дисертаційних робіт, 1 – у виданні, що індексується в наукометричній базі Scopus, 1 – в закордонному журналі, що

індексується в наукометричній базі Web of Science); 2 патенти України на винахід; 11 матеріалів наукових конференцій.

Структура й обсяг дисертації. Дисертаційна робота складається з вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел, додатків. Загальний обсяг дисертації становить 172 сторінок, зокрема 132 сторінок основного тексту; 65 рисунків за текстом, 13 таблиць за текстом, список використаних джерел з 107 найменувань на 13 сторінках, 3 додатки на 7 сторінках.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтовано актуальність і важливість теми дисертації, визначено мету та задачі досліджень; розкрито наукову новизну, практичне значення роботи; наведено інформацію про публікації, апробацію викладеного матеріалу, використання отриманих результатів та особистий внесок здобувача.

У першому розділі наведено інформацію та виконано аналітичний огляд існуючих технологій виробництва та спалювання ШКРП, розглянуто переваги і недоліки основних типів устаткування та процесів для виконання задач даного типу. Показано, що одним з найбільш ефективних способів отримання якісної паливної суміші є гідрокавітаційний вплив, який можливо реалізувати шляхом застосування спеціальних сучасних ефективних пристроїв.

Найважливішими умовами ефективного спалювання ШКРП є забезпечення якісного розпилювання та необхідний температурний рівень топочного простору, оскільки саме вони значною мірою впливають на екологічні показники процесу спалювання паливної суміші та ККД енергетичного обладнання.

Визначено, що основними критеріями оцінки якості паливної суміші є питома теплота згоряння, в'язкість, стабільність, зольність, екологічні показники процесу спалювання та ККД енергетичного обладнання.

На основі проведеного аналітичного огляду технологій та обладнання для створення та спалювання ШКРП визначені сучасні вимоги до паливоприготувального устаткування: ресурс робочих органів, інтенсивність гідрокавітаційної обробки компонентів палива, забезпечення якісних реологічних і енергоекологічних характеристик паливної композиції, високоякісне розпилювання палива в процесі спалювання, відповідність складу димових газів під час спалювання діючим екологічним нормативам. На останок, сформульовано мету і задачі дослідження.

У другому розділі проведено математичне й чисельне моделювання течії в'язкої рідини в плоских та осесиметричних каналах з використанням структурного методу R-функцій при створенні нових і вдосконаленні існуючих розпилюючих пристроїв. Під час створення ШКРП на основі вуглеводнів з додаванням рідких та вологовмісних відходів в'язкість отримуваної паливної суміші значно підвищується порівняно з вихідними компонентами, що може призводити до погіршення якості диспергування під час спалювання. Це негативно впливає на процеси горіння ШКРП. У разі зниження якості диспергування погіршується сумішеутворення паливних крапель з окиснювачем,

що значно знижує ККД енергетичного котла і збільшує кількість шкідливих викидів в атмосферу. За наявності в ШКРП твердої фази ресурс розпилюючих пристроїв значно знижується через абразивне зношування конструктивних елементів в процесі роботи. В зв'язку з цим для диспергування високов'язких ШКРП з наявністю твердої фази під час спалювання необхідне застосування спеціальних гідровихрових форсунок, які забезпечують якісне розпилювання палива і мають високий експлуатаційний ресурс.

Математичні моделі, які було використано в процесі досліджень, побудовані на основі системи рівнянь Нав'є-Стокса, зведеної до нелінійного диференціального рівняння в частинних похідних 4-го порядку відносно функції току ψ і рівняння Пуассона відносно статичного тиску. Для плоского випадку в декартових координатах вони мають наступний вигляд

$$\frac{1}{Re} \Delta \Delta \psi - \frac{\partial \psi}{\partial y} \cdot \frac{\partial \Delta \psi}{\partial x} + \frac{\partial \psi}{\partial x} \cdot \frac{\partial \Delta \psi}{\partial y} = 0;$$

$$\Delta P = 2 \left(\frac{\partial^2 \psi}{\partial x^2} \frac{\partial^2 \psi}{\partial y^2} - \left(\frac{\partial^2 \psi}{\partial x \partial y} \right)^2 \right),$$

де Re – число Рейнольдса;

ψ – функція току;

P – статичний тиск.

Для осесиметричного випадку у циліндричних координатах система рівнянь Нав'є-Стокса та рівняння Пуассона мають наступний вигляд

$$\begin{aligned} & -\frac{3}{r^4} \frac{\partial \psi}{\partial z} \frac{\partial \psi}{\partial r} + \frac{3}{r^3} \frac{\partial \psi}{\partial z} \frac{\partial^2 \psi}{\partial r^2} + \frac{2}{r^3} \frac{\partial \psi}{\partial z} \frac{\partial^2 \psi}{\partial r^2} - \frac{1}{r^3} \frac{\partial \psi}{\partial z} \frac{\partial^2 \psi}{\partial r \partial z} - \\ & - \frac{1}{r^2} \frac{\partial \psi}{\partial z} \frac{\partial^3 \psi}{\partial r^3} - \frac{1}{r^2} \frac{\partial \psi}{\partial z} \frac{\partial^3 \psi}{\partial r \partial z^2} + \frac{1}{r^2} \frac{\partial \psi}{\partial r} \frac{\partial^3 \psi}{\partial r^2 \partial z} + \frac{1}{r^2} \frac{\partial \psi}{\partial r} \frac{\partial^3 \psi}{\partial z^3} + \\ & + \frac{1}{Re} \left(-\frac{1}{r} \frac{\partial^4 \psi}{\partial r^4} - \frac{2}{r} \frac{\partial^4 \psi}{\partial r^2 \partial z^2} - \frac{1}{r} \frac{\partial^4 \psi}{\partial z^4} + \frac{2}{r^2} \frac{\partial^3 \psi}{\partial r^3} + \frac{2}{r^2} \frac{\partial^3 \psi}{\partial r \partial z^2} - \frac{3}{r^3} \frac{\partial^2 \psi}{\partial r^2} + \frac{3}{r^4} \frac{\partial \psi}{\partial r} \right) = 0; \\ & \frac{\partial^2 P}{\partial z^2} + \frac{\partial^2 P}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial P}{\partial r} = \frac{2}{r^2} \left[\frac{\partial^2 \psi}{\partial z^2} \left(\frac{\partial^2 \psi}{\partial r^2} - \frac{1}{r} \frac{\partial \psi}{\partial r} \right) - \frac{1}{r^2} \left(\frac{\partial \psi}{\partial z} \right)^2 + \frac{\partial^2 \psi}{\partial z \partial r} \left(\frac{1}{r} \frac{\partial \psi}{\partial z} - \frac{\partial^2 \psi}{\partial z \partial r} \right) \right]. \end{aligned}$$

На рис. 1, 2 наведені графіки функцій ліній постійного рівня на площині rOz , побудовані за результатами обчислювальних експериментів, проведених на сітці 40×40 сплайнів 5-го порядку, кількість ітерацій – 9. Розрахунки здійснено в системі POLE.

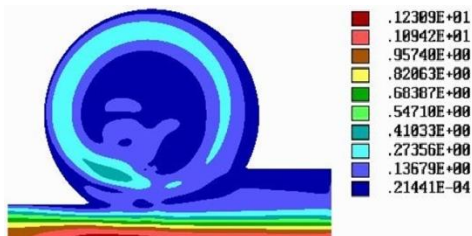


Рисунок 1 – Функція модуля швидкості
($Re=200$)

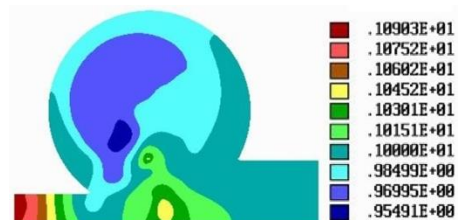


Рисунок 2 – Функція модуля
статичного тиску ($Re=200$)

Математичне моделювання потоку рідини в каналі складної форми за описаним вище алгоритмом дозволило вдосконалити проточну частину

гідрокавітаційної форсунки-активатора.

З використанням програмного комплексу Open FOAM 4.1 проведено CFD 3-вимірне моделювання процесів розпилювання ШКРП за допомогою гідровихрової форсунки. З метою забезпечення високоякісного диспергування та утворення первинної паливоповітряної суміші подача розпилюючого агента здійснюється тангенційно, що збільшує вихроутворення в камері змішування, та за рахунок відцентрових сил виникають локальні зони знижених тисків. З метою забезпечення більш високого ресурсу розпилюючого пристрою за допомогою пливчастої подачі повітря в сопло розпилювання струмені палива не торкаються стінок деталей гідровихрової форсунки, що перешкоджає абразивному зношуванню внутрішніх поверхонь пристрою. Розподілення швидкості під час розпилювання композиційного палива показано на рис. 3.

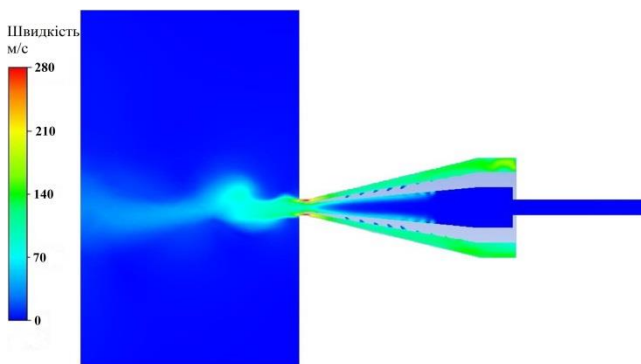


Рисунок 3 – Розподілення швидкості під час розпилювання композиційного палива



Рисунок 4 – Дослідний зразок гідровихрової форсунки

На основі результатів чисельного моделювання розроблено принципово нову конструкцію гідровихрової форсунки для диспергування під час спалювання ШКРП з високим вмістом вологи та наявністю твердої фази. З метою експериментального підтвердження якості розпилювання та проведення фізичного моделювання деталі розробленої гідровихрової форсунки було виготовлено за допомогою 3-D принтера. Фізичне моделювання процесів розпилювання ШКРП здійснювалось в широкому діапазоні тисків рідини і повітря, також здійснювалось регулювання гідровихрової форсунки для визначення ефективного положення розпилюючого сопла. З урахуванням усіх конструктивних особливостей та масштабування виготовлено дослідний зразок гідровихрової форсунки для розпилювання нових видів ШКРП (рис. 4).

З метою підвищення інтенсивності кавітаційного впливу при створенні ШКРП проведено CFD 3-вимірне моделювання для вдосконалення конструкції робочих органів гідрокавітаційного пристрою (ГКП). Як прототип для подальшої модернізації обрано двороторний ГКП типу «дезінтегратор», створений у відділі нетрадиційних енерготехнологій Інституту проблем машинобудування ім. А. М. Підгорного НАН України. Цей об'єкт досліджень має триступеневу проточну частину (шість вінців), кожний ступінь якої складено з робочих елементів ротаційного та контрротаційного робочих коліс.

Для підвищення інтенсивності виникнення кавітаційних процесів перетин проточної частини нового пристрою запропоновано виконати у формі конуса з нахилом поверхонь дисків робочих органів. Це дає змогу значно підвищити у конусному зазорі гідродинамічний натиск і окружну швидкість оброблюваного потоку, а також збільшити в'язкісне тертя, ударно-зсувні навантаження від ударних елементів збільшених розмірів, що може значно підвищити виникнення пульсацій тиску та локальних зон тисків нижче насичення парів, що є передумовою для виникнення кавітаційних процесів. Згідно з результатами чисельного моделювання, пароутворення виникає в зазорах між ударними елементами робочих органів під час виникнення значних пульсацій тиску. Оскільки за рахунок конусності проточної частини підвищилась висота ударних елементів порівняно з вихідної конструкцією ГКП, площа поверхні впливу на рідину значно збільшилась, що призвело до підвищення ударно-зсувних навантажень та в'язкісного тертя. Як наслідок, в зонах контакту ударних елементів і рідини виникають значні пульсації тиску з великими амплітудами, порушується цілісність потоку з утворенням пароподібних порожнин – кавітаційних бульбашок. Одержана інтенсивна парова кавітація є передумовою для отримання високоякісного ШКРП з високим вмістом водної фази.

За результатами моделювання розроблено (патент України № 113894) та виготовлено дослідний зразок гідрокавітаційного пристрою, який в подальшому застосовано під час проведення експериментальних досліджень процесів створення ШКРП.

Оскільки велика кількість вологовмісних компонентів у складі ШКРП ускладнює не тільки процес його створення, а й значно впливає на процеси спалювання, під час розробки та проектування конструкції пальникового пристрою необхідно враховувати особливості згоряння такого виду енергоресурсу. За малих значень теплової напруженості топкового простору під час потрапляння крапель водомазутної емульсії з високим вмістом вологи можливе зниження температури факела та підвищення втрати теплоти від хімічної і механічної неповноти згоряння палива. Тому під час розробки пальникового пристрою з метою забезпечення якісного спалювання ШКРП з високим вмістом водної фази необхідне забезпечення заданого рівня теплонапруженості камери згоряння.

З урахуванням даних факторів проведено CFD 3-вимірне моделювання процесів горіння ШКРП (рис. 5-6), за результатами якого розроблено конструкцію пальникового пристрою для спалювання паливних сумішей з високим вмістом вологи і наявністю твердої фази, принципова схема якого показана на рис. 7.

Для якісного сумішоутворення паливоповітряної суміші, стабілізації процесів горіння і забезпечення необхідного ступеня вигорання спалюваного палива в пальниковому пристрої встановлено жарову трубу, в якій відбувається змішування розпилюваного палива і первинної суміші зі вторинним повітрям. Отвори для підводу вторинного повітря до факела в жаровій трубі виконані з відбортівками для підвищення глибини проникнення окиснювача в потік розпилюваного палива. Подача вторинного повітря відбувається тангенційно для

закрутки потоку первинної суміші і в результаті відцентрового ефекту більш якісного перемішування паливних крапель з окиснювачем та збільшення часу перебування паливних крапель в зоні високих температур. Перед камерою згоряння встановлено лопаті для додаткової закрутки газової суміші на виході з жарової труби.

Для забезпечення необхідного рівня теплонапруженості топкового простору стінки камери згоряння футеровані керамічним вогнетривким матеріалом, що дозволило знизити теплові втрати і забезпечити необхідний температурний рівень під час спалювання ШКРП з високим вмістом водної фази.

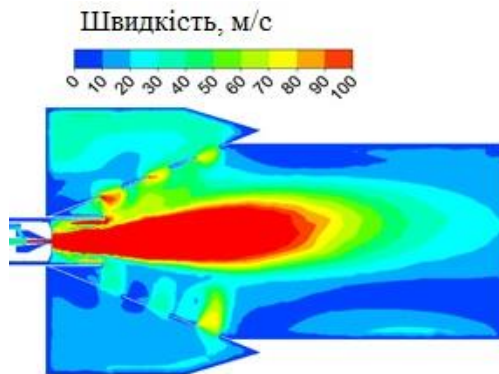


Рисунок 5 – Розподілення швидкостей під час горіння композиційного палива

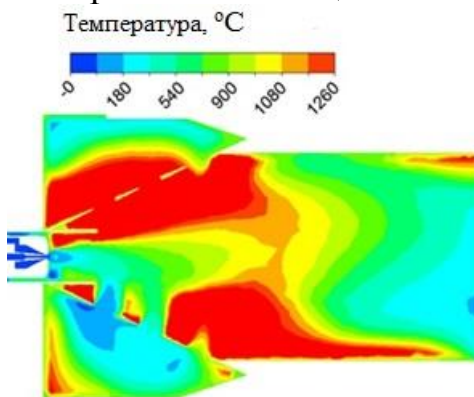


Рисунок 6 – Розподілення температур під час горіння композиційного палива

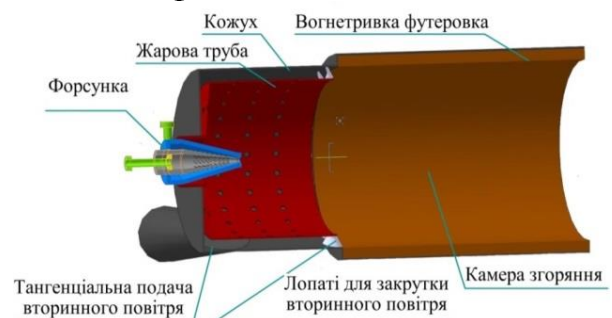


Рисунок 7 – Схема пального пристрою для спалювання композиційного палива



Рисунок 8 – Дослідний зразок пального пристрою, який встановлено на паровому котлі Е-1,0-0,9Г-3(Е)

З метою визначення ефективності розробленого пального пристрою проведено фізичне моделювання процесів спалювання ШКРП з високим вмістом водної фази. Згідно з результатами фізичного моделювання та з урахуванням всіх конструктивних особливостей, на базі розробленої гідровихрової форсунки створено дослідний зразок пального пристрою (рис. 8) для спалювання ШКРП з високим вмістом водної фази, який в подальшому використано для проведення експериментальних досліджень процесів горіння створених паливних сумішей. Застосування цього пального пристрою дозволяє здійснювати високоякісне спалювання композиційного палива з високим вмістом водної фази до 60 %.

У третьому розділі викладено створену в роботі узагальнену методологію визначення впливу ГКА на споживчі та енергоекологічні властивості ШКРП з високим вмістом вологовмісних відходів різного походження. В основу методології покладено проведення комплексних досліджень, в ході яких визначається ефективність застосування ГКА при створенні ШКРП, а також технічні засоби і технологічні режими їх роботи для забезпечення високої ефективності процесів його спалювання.

На першому етапі проводиться визначення вихідних даних для створення ШКРП: фізико-хімічні властивості та масове співвідношення паливних компонентів, розмір та форма частинок твердої фази, заданий розмір крапель водної фази.

Після встановлення всіх необхідних вихідних даних для створення ШКРП проводиться визначення ефективного режиму роботи та конструктивних особливостей ГКП: конструктивні особливості камери обробки, частота обертання роторів робочих органів, час гідрокавітаційної обробки та енерговитрати на створення одиниці маси паливної суміші. Далі проводиться чисельне моделювання процесів створення композиційного палива з використанням програмних комплексів для обчислень задач гідродинаміки в'язких рідин. У випадку, якщо результати чисельного моделювання не задовольняють поставлені завдання, проводиться повторне коригування вихідних даних та зміна режимних або конструкційних характеристик ГКП до моменту досягнення необхідного результату розрахунків. Якщо результати чисельного моделювання задовольняють поставлені завдання, проводиться створення дослідного зразка композиційного палива для визначення основних теплофізичних та фізико-хімічних характеристик отриманого ШКРП, головними з яких є питома теплота згоряння, в'язкість, зольність та стабільність.

Запропоновано формулу розрахунку збільшення питомої теплоти згоряння композиційного палива, одержаного з використанням методології ГКА, порівняно з теплотою згоряння попередньо емульгованої паливної суміші

$$K_{\text{пр}} = 100 - \frac{Q_m}{Q_{\text{кп}}} \cdot M_m, \quad (1)$$

де Q_m – теплотворна здатність вихідного вуглеводню, який входить до складу одержуваного композиційного палива, МДж/кг;

$Q_{\text{кп}}$ – теплотворна здатність композиційного палива, МДж/кг;

M_m – відсотковий масовий вміст вихідного вуглеводню у складі композиційного палива, %.

Використання даної формули дозволяє визначити відсоткове збільшення питомої теплоти згоряння ШКРП під час його створення з використанням методології ГКА, порівняно з теоретичним значенням теплоти згоряння, яка може бути розрахована шляхом підсумовування теплотворної здатності всіх горючих компонентів згідно з їх масовим вмістом у складі паливної суміші. Також результати розрахунку даного коефіцієнта дають змогу визначення попередньої оцінки можливості збільшення отримуваної теплової енергії.

При визначенні основних фізико-хімічних та енергетичних показників встановлюється відповідність заданим характеристикам отримуваних ШКРП. У

випадку, якщо результати не задовольняють поставлені завдання, проводиться повторне коригування вихідних даних та зміна режимних або конструкційних характеристик ГКП до моменту досягнення необхідних властивостей ШКРП. Якщо результати даного експериментального дослідження задовольняють поставленим завданням, проводиться видача вихідних параметрів та зразків ШКРП для дослідження процесів спалювання з метою встановлення енергоекологічних показників застосування даного виду енергоресурсу.

Для визначення ефективності застосування ГКА під час створення ШКРП необхідне проведення експериментальних досліджень процесів його спалювання. Вихідними даними для проведення таких досліджень є теплофізичні та фізико-хімічні характеристики створеного ШКРП. Згідно з характеристиками досліджуваної паливної суміші, проводиться визначення необхідного конструктивного виконання гідровихрової форсунки для розпилювання під час спалювання, а саме: необхідна форма проточної частини, розмір прохідних перерізів, конструктивні особливості деталей розпилюючого пристрою та ін.

Основними показниками ШКРП, які використовуються на даному етапі, є в'язкість, наявність та розмір твердої фази, а також адгезійні властивості паливної суміші, оскільки цей показник визначає фізичну взаємодію розпилюваної рідини з твердою поверхнею деталей гідровихрової форсунки.

При визначеному конструктивному виконанні проводиться встановлення ефективного режиму роботи гідровихрової форсунки. На цьому етапі визначаються тиск та витрати палива і розпилюючого повітря, а також налаштування геометричного розташування деталей форсунки. Далі проводиться чисельне моделювання процесів розпилювання досліджуваної паливної суміші. У випадку, якщо результати чисельного моделювання не задовольняють поставлені задачі, проводиться повторне визначення конструктивного виконання та ефективного режиму роботи гідровихрової форсунки до моменту досягнення необхідного результату розрахунків. Якщо результати чисельного моделювання задовольняють поставлені задачі, проводиться фізичне моделювання процесів розпилювання паливної суміші, за результатами якого можлива верифікація розрахунків згідно з експериментальними даними, а також уточнення математичної моделі використовуваного програмного комплексу шляхом введення коригуючих коефіцієнтів.

У разі отримання необхідних результатів фізичного моделювання процесів розпилювання проводиться визначення конструктивного виконання та ефективного режиму роботи пального пристрою, під час якого встановлюють: спосіб подачі вторинного повітря, рівень теплонапруженості камери згоряння, методи забезпечення якісного змішування палива з окиснювачем, тепловий режим, коефіцієнт надлишку повітря, швидкість подачі вторинного повітря, температура факела, використання палива підсвічування. Далі проводиться чисельне моделювання процесів горіння ШКРП, за результатами якого визначається ефективність організації процесу спалювання використовуваного енергоресурсу.

У випадку, коли результати чисельного моделювання не відповідають поставленим задачам, проводиться повторне визначення конструктивного виконання та ефективного режиму роботи пального пристрою до моменту досягнення необхідних результатів розрахунку. Якщо результати чисельного моделювання задовольняють поставлені задачі, проводиться фізичне моделювання процесів горіння створеного композиційного палива. Також на даному етапі проводиться верифікація розрахунків згідно з експериментальними даними з уточненням математичної моделі використовуваного програмного комплексу шляхом введення коригуючих коефіцієнтів. Після одержання необхідних результатів фізичного моделювання процесів горіння проводиться експериментальне визначення енергоекологічних показників процесу спалювання та ККД енергоустановки.

Для визначення збільшення кількості отримуваної теплової енергії у разі застосування ШКРП як енергоресурсу для парового котла порівняно з можливим отриманням тепла під час спалювання використаної у складі паливної суміші кількості вихідного вуглеводню запропоновано формулу розрахунку енергетичної ефективності застосування композиційного палива

$$K_{ee} = 100 - \frac{b_r}{b_m} * M_m, \quad (2)$$

де b_r – питома витрата композиційного палива на 1 т пари, кг/т;

b_m – питома витрата вихідного вуглеводню на 1 т пари, кг/т;

M_m – відсотковий масовий вміст вихідного вуглеводню у складі композиційного палива, %.

З урахуванням всіх особливостей організації процесу спалювання та поставлених вимог за результатами експериментальних досліджень проводиться видача рекомендацій та розробка технологічного регламенту технології створення та спалювання ШКРП.

З метою застосування розробленої методології визначення впливу ГКА на теплофізичні, фізико-хімічні характеристики створюваних ШКРП та енергоекологічні показники їх спалювання розроблено комплекс для експериментальних досліджень, принципова схема якого показана на рис. 9.

Комплекс для проведення експериментальних досліджень складається з трьох основних модулів:

- модуль підготовки паливних компонентів (елементи 1, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 15, 22) – включає в себе систему підігріву вихідних вуглеводнів до необхідної температури, систему попередньої підготовки водної фази, систему перекачування й вимірювання витрати компонентів для приготування ШКРП.;

- модуль проведення гідрокавітаційної активації ШКРП (елементи 1, 11, 12, 13, 20, 21, 22) – складається з системи змішування паливних компонентів, ГВП для проведення гідрокавітаційної активації, системи перекачування й фільтрації готового палива для подальшого спалювання в промисловому котлоагрегаті, системи вимірювання температурних та енергетичних характеристик процесу виробництва паливної композиції;

- модуль спалювання й вимірювання енергоекологічних характеристик композиційного палива (елементи 2, 14, 16, 17, 18, 19, 23, 24) – включає в себе

пальниковий пристрій з гідрокавітаційною форсункою, систему підігріву й подачі ШКРП для спалювання, систему вимірювання термобарометричних й витратних характеристик, систему вимірювання енергоекологічних характеристик процесу згоряння досліджуваного палива.

Основними елементами даного комплексу для реалізації ГКА під час створення та спалювання композиційного палива (КП) є гідрокавітаційний пристрій 13, гідровихрова форсунка 18 та пальниковий пристрій 19. Як інші елементи комплексу можуть бути використані стандартні існуючі пристрої і агрегати.

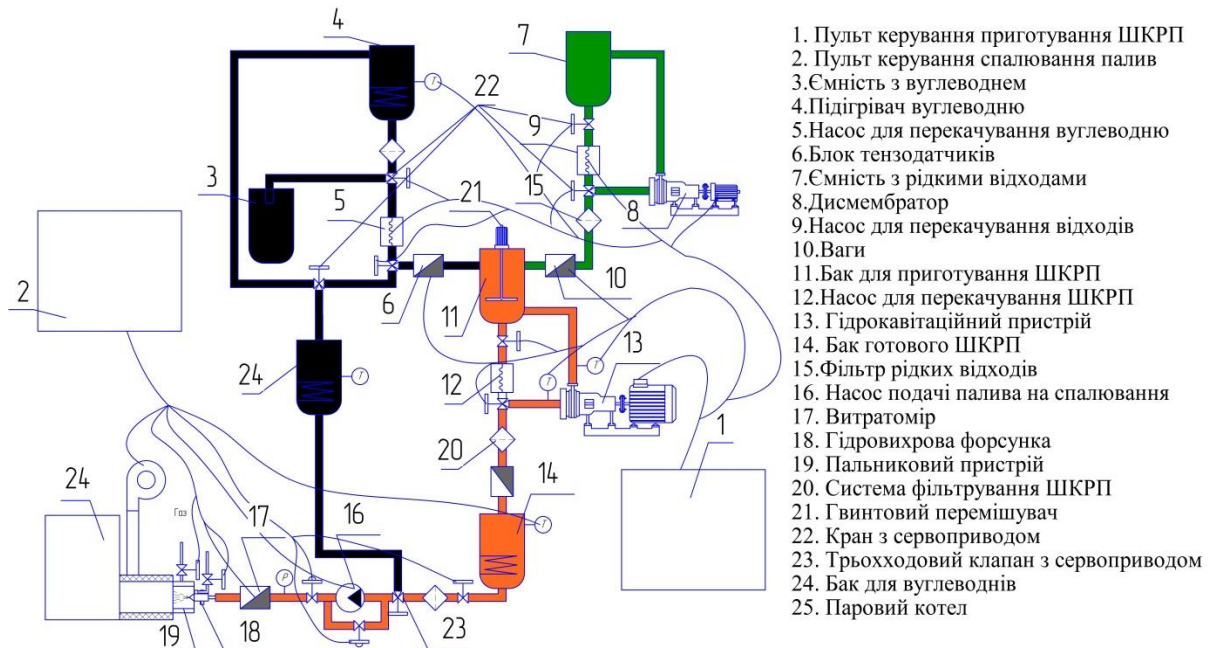


Рисунок 9 – Принципова схема комплексу для проведення експериментальних досліджень впливу ГКА на теплофізичні, фізико-хімічні характеристики створюваних ШКРП та енергоекологічні показники їх спалювання



Рисунок 10 – Мобільний експериментальний енерготехнологічний комплекс для проведення досліджень процесів створення та спалювання ШКРП

Для проведення експериментальних досліджень, згідно з розробленими принциповою схемою (рис. 9) та методологією визначення впливу гідрокавітаційної активації на показники процесів створення та спалювання ШКРП із застосуванням ГКА, створено мобільний дослідний комплекс, який показано на рис. 10. Мобільний енерготехнологічний комплекс виконано на одній платформі для можливості транспортування на промислові підприємства для проведення пілотних промислових випробувань технологій створення та

спалювання ШКРП у виробничих умовах. Виробнича потужність даного комплексу становить 350-500 кг/год композиційного палива в залежності від компонентного складу паливної суміші. Створений комплекс дозволяє проводити дослідження процесів приготування й спалювання ШКРП на основі вуглеводнів (в тому числі й некондиційних) з додаванням рідких вологовмісних промислових відходів різноманітного походження з метою визначення основних показників енергоефективності та екологічності створеної технології, надання рекомендацій з її промислового використання для розв'язання одночасно двох взаємопов'язаних задач: розширення ресурсної бази рідкого органічного котельного палива та зниження екологічного навантаження на навколишнє середовище за рахунок утилізації відходів промислових підприємств у складі спалюваних паливних композицій.

У четвертому розділі наведено результати експериментальних досліджень та практичної реалізації застосування ГКА для створення і спалювання ШКРП з метою раціонального використання вторинних енергоресурсів і утилізації промислових відходів різноманітного походження.

На сьогодні в Україні достатньо гостро постає проблема пошуку альтернативних джерел енергії. Одним з таких джерел можуть бути надлишкові мулові осади комунальних очисних споруд. На цей час дані відходи згущуються у відстійниках другого порядку, а потім відбираються та відкачуються на спеціальні мулові майданчики, де під дією природних факторів (життєдіяльність мікроорганізмів, атмосферне повітря, сонячне проміння і т. ін.) поступово розкладаються. Це є значною екологічною проблемою.

Проведено промислові дослідження застосування ГКА, метою яких було визначення техніко-економічних та енергоекологічних показників процесу горіння вихідного вуглеводню (кубових залишків) і ШКРП, виробленого на його основі, з додаванням мулових осадів очисних споруд. Дослідження проведено на базі сертифікованої випробувальної лабораторії ТОВ МВВФ «Енергетик» за допомогою енерготехнологічного комплексу (рис. 10) та парового газомазутного котла Е-1,0-0,9Г-3(Е) продуктивністю 1т пари на годину.

В ході експериментальних досліджень визначена залежність (рис. 11) зміни питомої теплоти згоряння ШКРП з додаванням 50 % мас. мулових осадів від окружної швидкості руху ударних елементів роторів, що є показником інтенсивності ГКА компонентів паливної суміші. Згідно з даними, наведеними на рис. 11, найкращі показники питомої теплоти згоряння ШКРП мають місце при швидкості руху ударних елементів роторів 60-70 м/с. Саме тому подальші дослідження проводилося за такого режиму роботи ГКА. Збільшення питомої теплоти згоряння композиційного палива у порівнянні з попередньо емульгованою паливною сумішшю пояснюється тим, що при підвищенні гідрокавітаційного впливу відбувається інтенсифікація фізико-хімічних процесів в емульсії типу «вуглеводень-вода», таких як гідроліз, гідрогенізація, гідрокрекінг, під час яких утворюються нові кисеньвмісні вуглеводневі сполуки. Використання залежності зміни питомої теплоти згоряння ШКРП від окружної швидкості руху ударних елементів робочих органів ГКА дозволяє визначити ефективні режими

роботи гідрокавітаційного обладнання при створенні та спалюванні даного виду енергоресурсу.

Для визначення впливу вмісту мулових осадів у складі ШКРП створення паливної суміші здійснювалось у різних компонентних співвідношеннях. Згідно з даними табл. 1, збільшення теплотворної здатності ШКРП у відношенні до питомої теплоти згоряння використаної кількості вихідного вуглеводню (1) становить до 16 % в залежності від компонентного співвідношення. Також слід зазначити, що кінематична в'язкість отримуваних ШКРП значно збільшується порівняно з в'язкістю вихідного вуглеводню, що пояснюється утворенням адсорбційно-сольвантного шару на межі розділення фаз краплі водопаливної суспензії.

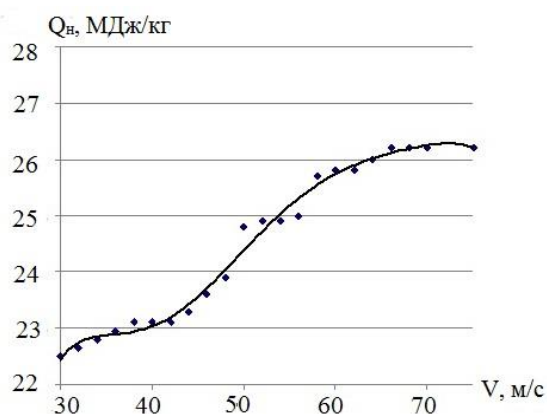


Рисунок 11 – Залежність питомої теплоти згоряння ШКРП від окружної швидкості руху ударних елементів робочих органів ГКП

Визначення енергетичних показників процесу спалювання палива проводилося за допомогою вихрового витратоміру пари «ІРГА», який встановлено на вихідному паропроводі котла. Аналіз теплотехнічних досліджень (табл. 2) процесу спалювання показав, що у разі використання ШКРП як енергоресурсу згідно з формулою (2) економія вуглеводневої сировини може досягати до 10 %. Експериментальні дослідження показали, що додавання до складу ШКРП мулових осадів понад

50 % мас. значно погіршує якість процесу горіння та потребує застосування палива підсвічування для підтримання стабільності горіння, що є економічно недоцільним.

Таблиця 1 – Фізико-хімічні характеристики композиційних палив

Паливо	Вологість, %	Зольність, %	Питома теплота згоряння, МДж/кг	Динамічна в'язкість, мПа·с	$K_{пр}$, %
Кубові залишки	0,58	0,08	44,0	26	—
ШКРП (30 % мулові осад)	22,12	0,88	31,8	318	3,15
ШКРП (35 % мулові осад)	29,80	1,11	30,5	427	6,23
ШКРП (40 % мулові осад)	31,21	1,44	29,4	519	10,20
ШКРП (45 % мулові осад)	37,76	1,47	27,8	612	12,95
ШКРП (50 % мулові осад)	40,46	1,86	26,2	639	16,03

Визначення складу димових газів під час спалювання досліджуваного палива та їх відповідність сучасним екологічним вимогам здійснено газоаналізатором «ОКСИ» 5М-5НД CO_2 , показання якого відображались в онлайн-режимі та реєструвались на пульті керування процесами спалювання. За даними показниками відбувалось регулювання режиму роботи пальникового

пристрою шляхом коригування режиму подачі паливної суміші та вторинного повітря для підтримання постійного оптимального коефіцієнта α (коефіцієнт надлишку повітря) і температурних показників процесу горіння.

Порівняння результатів газового аналізу з чинними нормативами гранично допустимих концентрацій (ГДК) шкідливих речовин під час спалювання ШКРП (табл. 3) показало повну відповідність сучасним екологічним вимогам. Отже, застосування такого виду енергоресурсу розв'язує не тільки енергетичну задачу виробництва більш дешевої теплової чи електричної енергії, а й екологічну проблему утилізації промислових відходів з метою зниження навантаження на навколишнє середовище.

Таблиця 2 – Результати теплотехнічних досліджень процесу спалювання композиційного палива

Паливо	Т газу, °С	Р пари, МПа	ККД котла, %	Витрата палива на 1 т пари, кг	К _{ее} , %
Кубові залишки	302,4	0,4	81,8	80	-
ШКРП (30 % мулові осади)	293,2	0,4	83,2	108	5,5
ШКРП (35 % мулові осади)	291,8	0,4	84,6	115	6,6
ШКРП (40 % мулові осади)	291,4	0,4	85,0	124	7,0
ШКРП (45 % мулові осади)	289,5	0,4	85,8	133	8,6
ШКРП (50 % мулові осади)	286,6	0,4	86,0	145	9,4

Таблиця 3 – Результати газового аналізу димових газів під час спалювання досліджуваних композиційних палив і вихідного вуглеводню

Паливо	α	CO, ppm	CO ₂ , %	O ₂ , %	NO, ppm	NO _x , ppm	SO ₂ , ppm
Кубові залишки	1,31	12	11,2	4,2	119	119	177
ШКРП (30 % мулові осади)	1,36	20	10,8	4,7	123	123	171
ШКРП (35 % мулові осади)	1,42	32	10,5	5,1	121	121	155
ШКРП (40 % мулові осади)	1,43	41	9,8	5,8	114	114	168
ШКРП (45 % мулові осади)	1,45	28	10,4	5,2	126	126	149
ШКРП (50 % мулові осади)	1,47	52	9,6	6,4	134	134	156
Норматив ГДК	-	250	-	-	500	500	250

Дослідження з використання ГКА також проведено під час виробництва та спалювання ШКРП на основі водовугільної суспензії. Як основу водовугільного палива (ВВП) використано відходи вуглезбагачувального підприємства різної зольності від 10 до 60 %. Подрібнення високозольної вугільної сировини до дисперсності менше 500 мкм здійснювалось за допомогою барабанно-кульового млина. Далі подрібнене вугілля змішувалось з водою в необхідних пропорціях з додаванням пластифікатора – етиленгліколю. Потім до водовугільної суспензії в залежності від зольності вугільного компонента додавався в необхідній кількості рідкий компонент, одержаний під час піролізної переробки без доступу повітря за температури 420-470 °С гуми, поліетилену і пластмас з твердих побутових відходів. Ця рідина має питому теплоту згоряння 30 МДж/кг, а її використання в якості паливного компонента замінює необхідність застосування дорогих

вуглеводнів як палива підсвічування. Отримана суміш оброблялась з застосуванням методу ГКА на розробленому ГКП. Під час здійснення ГКА вугільний компонент додатково подрібнюється у водному середовищі, а також відбувається кавітаційна активація частинок вугілля, в ході якої вони розпадаються на окремі органічні складові, але з активною поверхнею.

Отримане в такий спосіб паливо є стабільним, пластичним, має високий ступінь вигорання та більш високу питому теплоту згоряння на рівні 17 МДж/кг. Запропоноване ВВП з додаванням піролізного компонента має поліпшені теплофізичні та реологічні характеристики, є ефективним для тривалого зберігання, транспортування, надійного запалення і спалювання, перекачування трубопроводами під тиском. Під час дослідження процесів спалювання розробленої паливної суміші отримано стійке горіння протягом 40 хвилин без зривів факела.

Результати цих досліджень лягли в основу розробленого способу створення та спалювання водовугільного палива (патент України на винахід № 114935) з відходів вуглезбагачувальних підприємств високої зольності, яке відрізняється високими калорійністю та якістю розпилювання, що забезпечують надійне запалювання та стабільне горіння без використання підсвічування, а також низькою в'язкістю і задовільною седиментаційною стійкістю для здійснення трубопровідного транспортування і тривалого зберігання. Крім того, запропоноване ШКРП може використовуватися теплоенергогенеруючими підприємствами без суттєвої реконструкції існуючого обладнання як альтернатива рідким і газоподібним паливам високої вартості.

Використання ГКА досліджено також під час утилізації вогневим методом відпрацьованих технологічних рідин нафтовидобувної галузі. За інтенсифікації видобутку вуглеводнів однією з найбільш використовуваних є технологія гідророзриву пласта (ГРП) нафтогазових свердловин. Однією з головних проблем цієї технології є утворення великої кількості відпрацьованої рідини у вигляді забрудненої хімічними домішками води. В ІПМаш НАН України запропоновано безстічну технологію утилізації відпрацьованої рідини ГРП, що базується на застосуванні ряду фізико-хімічних методів очистки з отриманням очищеної води, супутніх речовин, придатних до повторного використання, і концентрату відпрацьованої рідини ГРП, який із застосуванням ГКА вводиться до складу ШКРП і спалюється.

За замовленням компанії Shell та Київського інституту нетрадиційного газу, за участю Науково-технічного концерну «ІПМаш» НАН України, проведено дослідження процесів створення та спалювання ШКРП на основі дизельного пального з додаванням в якості водної фази відпрацьованої рідини ГРП. Результати цих досліджень показали, що стабільність зразків зменшується зі збільшенням кількості і концентрації водної фази у складі паливної суміші. Це пов'язано зі збільшенням концентрації дегелевателів, що знаходяться у відпрацьованій рідині ГРП і призводять до руйнування структури створеної паливної емульсії.

Проведені експериментальні дослідження процесів горіння ШКРП на основі дизпалива з додаванням 20 % відпрацьованої рідини ГРП, а також її 2-, 10- та 20-кратних концентратів показали можливість ефективної вогневої утилізації цих промислових відходів за повної відповідності екологічним нормам і вимогам до енергетичних промислових котлів.

У додатках наведено акти впровадження технології створення і спалювання композиційного палива та список публікацій за темою дисертаційної роботи.

ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі розв'язано важливу науково-прикладну проблему підвищення ефективності процесів створення та спалювання композиційного палива за допомогою гідрокавітаційної активації. До основних результатів належать такі:

1. Вперше розроблено методологію визначення впливу гідрокавітаційної активації на теплофізичні, гідродинамічні, фізико-хімічні, енергетичні та екологічні показники процесів створення та спалювання паливних емульсій і суспензій з високим вмістом промислових вологовмісних відходів, що дозволило встановити необхідний рівень інтенсивності ГКА для отримання композиційного палива із заданими споживчими, теплофізичними та енергоекологічними властивостями.

2. Досліджено ефективність використання гідрокавітаційної активації під час створення та спалювання композиційних палив на основі вуглеводнів та рідких або вологовмісних відходів. Визначені критерії оцінки якості паливної суміші, основними з яких є рівень теплотворної здатності, реологічні властивості, стабільність одержуваних палив та ККД енергоустановки, на якій відбувається спалювання.

3. Із застосуванням методів чисельного моделювання гідродинаміки потоків в'язкої нестисливої рідини розроблено принципово нову конструкцію гідровихрової форсунки з підвищеним експлуатаційним ресурсом та здатністю розпилювати високов'язкі композиційні палива з вмістом твердої фази до 72 %, що відкриває перспективи широкого застосування таких палив в енергоустановках, а також нові конструкції гідрокавітаційного обладнання, які відрізняються від аналогів значно більшою інтенсивністю ГКА.

4. Використання розробленого двороторного гідрокавітаційного пристрою дозволило вперше одержати зразки нових видів паливних емульсій з вмістом водної фази до 50 % з підвищеною стабільністю та поліпшеними реологічними властивостями, що відкриває перспективи широкого застосування таких палив в енергоустановках.

5. Встановлено залежність збільшення питомої теплоти згоряння композиційного палива від режиму ГКА під час його виготовлення, що дозволяє визначати ефективні режими роботи гідрокавітаційного обладнання під час створення та спалювання цього виду енергоресурсу. Експериментально досягнуто збільшення на 16 % питомої теплоти згоряння композиційного палива

на основі кубових залишків нафтопереробки з додаванням мулових осадів комунальних очисних споруд.

6. Методологію ГКА впроваджено під час створення та спалювання композиційних палив на основі некондиційних вуглеводнів та мулових осадів комунальних очисних споруд на ТОВ МВВФ «Енергетик» з використанням парового котла Е–1,0–0,9Г–3(Е). Результати промислових випробувань довели, що застосування зазначеної методології дозволяє не тільки розв’язувати екологічні проблеми утилізації рідких та вологовмісних відходів, а й економити до 10 % вуглеводневої сировини під час виробництва теплової та електричної енергії.

СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ ЗДОБУВАЧА

1. Комплекс для проведения исследований процессов производства, подготовки и сжигания новых видов композиционных топлив / О.В. Кравченко, И.Г. Суворова, В.А. Гоман, Е.Ю. Мусиенко, А.М. Даниленко // Техническая теплофизика и промышленная теплоэнергетика. Днепропетровск: Лира ЛТД, 2013. № 5. С. 150 – 160.

2. Перспективные технологии получения и сжигания композиционных топлив на основе методов активации / О.В. Кравченко, И.Г. Суворова, И.А. Баранов, В.А. Гоман // Комунальне господарство міст. Сер. енергоефективна техніка та технології в житлово-комунальному господарстві. Харків: Харківський національний університет імені О.М. Бекетова. 2014. Вип. 118 (1). С. 29 – 33.

3. Гоман В.А., Кравченко О.В. Совершенствование технологии огневой утилизации отработанной жидкости гидроразрыва пласта в составе композиционных топлив // Экология и промышленность. Харьков, 2016. № 4. С. 57 – 64.

4. Hydrocavitation activation in the technologies of production and combustion of composite fuels/ O. Kravchenko, I. Suvorova, I. Baranov, V.Goman // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2017. 4 /5 (88). P. 33 - 42.

5. Innovative Technologies for Utilization and Disinfection of Waste to Ensure Sustainable Development of Civilization / I.G. Suvorova, O.V. Kravchenko, I.A. Baranov, V.A. Goman // European Journal of Sustainable Development. Rome, 2018. Vol. 7, № 4. P. 423-434.

6. Пат. 113894 (Україна), МПК В01F /16 Гідрокавітаційний пристрій для обробки рідин / Кравченко О.В., Гоман В.О, Сімбірський О.В., Момот В.І.; заявник і патентоутримувач Інститут проблем машинобудування НАН України. № а 2015004466; заявл. 07.05.2015; опубл. 27.03.2017, Бюл. № 6. 4 с.

7. Пат. 114935 (Україна), МПК С10L 1/32 Водовугільне паливо / Кравченко О.В., Гоман В.О, Сімбірський О.В., Момот В.І.; заявник і патентоутримувач Інститут проблем машинобудування НАН України. № а 2015004460; заявл. 07.05.2015; опубл. 28.08.2017, Бюл. № 16. 4 с.

8. Гоман В.А. Установка для исследования процессов получения и сжигания композиционных топлив // IX конференция молодых ученых и

специалистов ИПМаш НАН Украины: тез. докладов. Харьков, 5-8 ноября, 2012. С. 68.

9. Гоман В.А. Комплекс для исследований процессов производства, подготовки и сжигания новых видов композиционных топлив // X конференция молодых ученых и специалистов ИПМаш НАН Украины: тез. докладов. Харьков, 11-13 ноября, 2013. С. 44.

10. Гоман В.А. Совершенствование процессов производства, подготовки и сжигания новых видов композиционных топлив // Конференция молодых ученых и специалистов ИПМаш НАН Украины: тез. докладов. Харьков, 17-20 ноября, 2014. С. 49.

11. Гоман В.А. Огневая утилизация отработанной жидкости гидроразрыва пласта в составе композиционных топлив // Конференция молодых ученых и специалистов ИПМаш НАН Украины: тез. докладов. Харьков, 16-19 ноября, 2015. С. 36.

12. Гоман В.А., Кравченко О.В. Совершенствование технологии огневой утилизации отработанной жидкости гидроразрыва пласта в составе композиционных топлив // V Международная научно-практическая конференция молодых ученых и специалистов в области проектирования предприятий горно-металлургического комплекса, энерго- и ресурсосбережения, защиты окружающей природной среды: сборник трудов. Харьков, 23-24 марта, 2016. С. 148-157.

13. Гоман В.А. Повышение эффективности технологии огневой утилизации отработанной жидкости гидроразрыва пласта методами математического и физического моделирования / В.А. Гоман, О.В. Кравченко // Актуальні проблеми та перспективи розвитку геології: наука й виробництво (ГЕОФОРУМ-2016): матеріали III міжнародного геологічного форуму, Україна, Миколаївська обл., с. Коблеве, 15 – 20 серпня 2016 року. К.: УкрДГПІ, 2016. С. 68 – 75.

14. An Innovation Technology for Production and Combustion of Composite Fuels Based on Hydrocavitation Activation / O. Kravchenko, I. Suvorova, I. Baranov, V. Goman // Book of abstract 11th Conference on Sustainable Development of Energy, Water and Environment Systems. Lisbon, Portugal, September 4-9, 2016. P. 67.

15. Гоман В.А. Сжигание композиционного топлива с добавлением иловых осадков очистных сооружений // Конференция молодых ученых и специалистов ИПМаш НАН Украины: тез. докладов. Харьков, 21-24 ноября, 2016. С. 58.

16. Гоман В.О. Вдосконалення технології виготовлення й спалювання композиційного палива на основі мазуту з додаванням мулових осадків комунальних очисних споруд // Конференція молодих вчених і спеціалістів ИПМаш НАН України: тез. доповіді. Харків, 17-20 квітня, 2018. С. 32.

17. Innovative Technologies for Utilization and Disinfection of Waste to Ensure Sustainable Development of Civilization / O. Kravchenko, I. Suvorova, I. Baranov, V. Goman // 6th International Conference on Sustainable Development, September 12-13, Rome, Italy. P. 214.

18. Гоман В. О. Промислові випробування енергоефективності й екологічності технології гідрокавітаційної активації при виробництві й

спалюванні композиційного палива з додаванням мулових осадів очисних споруд
// Конференція молодих вчених і спеціалістів ІПМаш НАН України: тез. доповіді.
Харків, 15-18 квітня, 2019. С. 28.

АНОТАЦІЯ

Гоман В.О. Підвищення ефективності процесів створення та спалювання композиційного палива за допомогою гідрокавітаційної активації. На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.14.06 – технічна теплофізика та промислова теплоенергетика. – Інститут проблем машинобудування ім. А. М. Підгорного НАН України, Харків, 2019.

Дисертація присвячена підвищенню ефективності процесів створення та спалювання нових видів композиційного палива за допомогою гідрокавітаційної активації з метою отримання додаткової теплової енергії та утилізації вологовмісних промислових відходів вогневим методом.

Визначено основні критерії оцінки якості композиційного палива і вимоги до обладнання для його створення та спалювання. Із застосуванням методів математичного, чисельного та фізичного моделювання розроблено новий тип гідрокавітаційного пристрою для створення композиційного палива, а також гідровихрову форсунку та пальниковий пристрій для спалювання виготовлених паливних сумішей.

Розроблено методологію та створено енерготехнологічний дослідний комплекс, застосування яких дозволяє експериментально визначати вплив гідрокавітаційної активації на теплофізичні, фізико-хімічні характеристики створюваних композиційних палив та енергоекологічні показники їх спалювання.

Експериментально доведено, що застосування гідрокавітаційної активації під час створення та спалювання композиційного палива на основі некондиційних вуглеводнів і вологовмісних промислових відходів дає змогу одночасного розв'язання двох взаємопов'язаних задач: отримання додаткової теплової енергії та утилізація екологічно небезпечних промислових відходів вогневим методом.

Ключові слова: гідрокавітаційна активація, штучне рідке композиційне паливо, гідровихрова форсунка, гідрокавітаційний пристрій, енерготехнологічний дослідний комплекс, енергоекологічні показники процесів спалювання композиційного палива.

ABSTRACT

Goman V.A. Increasing the effectiveness of the processes of producing and combusting composite fuel by using hydrocavitation activation. – A manuscript.

Thesis for the scientific degree of the Candidate of Thecnical Sciences by specialty 05.14.06 – Technical Thermal Physics and Industrial Heat-Power Engineerig. –

A. Pidgorny Institute of Mechanical Engineering Problems of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kharkiv, 2019.

The dissertation deals with increasing the effectiveness of producing and combusting new kinds of composite fuel by using hydrocavitation activation to obtain extra thermal energy and recycle moisture-containing industrial waste by using the firing method.

The basic criteria were found for evaluating composite fuel quality and the requirements to the equipment for its production and combustion. Mathematical, numerical and physical simulation methods were used to develop a new type of hydrocavitation device to produce composite fuel, and a hydrovortex nozzle and burner for combustion of the produced fuel mixtures. Using a two-rotor hydrocavitation device helped the first time to produce fuel emulsions containing an aqueous phase within 50 % with increased stability and improved rheological properties. Using a hydrovortex nozzle and a burner enables combustion of high-viscosity composite fuels containing solid particles and with an aqueous phase up to 60 % mass.

A methodology was developed for determining the effect of hydrocavitation activation on the indicators of the processes of producing and combusting composite fuels. With the purpose of experimental application of the given methodology, a mobile energy technological research complex was developed and made. It enables determining the impact of hydrocavitation activation on the thermophysical, fluid dynamic, and physico-chemical characteristics of the composite fuels produced and the energy technological indicators of their combustion. The application of the developed methodology and energy technological complex enabled working out technology regulations for producing and combusting fuel mixtures in industrial conditions directly at power facilities. It also helped determine the basic indicators of energy effectiveness and environmental performance of the developed technologies, followed by issuing recommendations on their industrial introduction.

For the first time, the dependence of an increasing gross calorific value of a composite fuel on the hydrocavitation activation running conditions during its production was established. This allowed determining effective hydrocavitation equipment operating conditions for producing and combusting the given kind of energy resource.

The methodology of hydrocavitation activation during the production and combustion of composite fuel based on the stillage residue of petroleum refining and sludge from public-owned treatment works was introduced at LLC MPVF Energetik. Industrial tests proved the possibility of saving hydrocarbon resources up to 10 % during the generation of thermal and electric energy.

Experiments proved that applying hydrocavitation activation during the production and combustion of composite fuel based on off-spec hydrocarbons and moisture-containing industrial waste makes it possible to solve two interrelated problems at the same time: producing extra thermal energy and recycling environmentally hazardous industrial waste by using the firing method.

Keywords: hydrocavitation activation, artificial composite liquid fuel, hydrovortex nozzle, hydrocavitation device, energy technological research complex, energy-ecological indicators of composite fuel combustion processes.

АННОТАЦИЯ

Гоман В.А. Повышение эффективности процессов создания и сжигания композиционного топлива при помощи гидрокавитационной активации. На правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.14.06 – техническая теплофизика и промышленная теплоэнергетика. – Институт проблем машиностроения им. А. Н. Подгорного НАН Украины, Харьков, 2019.

Диссертация посвящена повышению эффективности процессов создания и сжигания новых видов композиционного топлива при помощи гидрокавитационной активации с целью получения дополнительной тепловой энергии и утилизации влагосодержащих промышленных отходов огневым методом.

Определены основные критерии оценки качества композиционного топлива и требования к оборудованию для его создания и сжигания. С применением методов математического, численного и физического моделирования разработано новый тип гидрокавитационного устройства для создания композиционного топлива, а также гидровихревую форсунку и горелочное устройство для сжигания произведенных топливных смесей.

Разработано методологию и создано энерготехнологический исследовательский комплекс, применение которых позволяет экспериментально определять влияние гидрокавитационной активации на теплофизические, физико-химические характеристики создаваемых композиционных топлив и энергоэкологические показатели их сжигания.

Экспериментально доказано, что применение гидрокавитационной активации при создании и сжигании композиционного топлива на основе некондиционных углеводородов и влагосодержащих промышленных отходов дает возможность одновременного решения двух взаимосвязанных задач: получения дополнительной тепловой энергии и утилизации экологически опасных промышленных отходов огневым методом.

Ключевые слова: гидрокавитационная активация, искусственное композиционное жидкое топливо, гидровихревая форсунка, гидрокавитационное устройство, энерготехнологический исследовательский комплекс, энергоэкологические показатели процессов сжигания композиционного топлива.

Підписано до друку 18.06.2019. Формат 60х90/16. Папір офсетний.
Ум.-друк. арк. 0,9. Наклад 100 прим. Зам. № 04-09-2019
Ціна договірна

Друкарня «Технологічний центр»
Свідоцтво про внесення суб'єкта видавничої справи ДК № 4452 від 10.12.2012
Адреса: 61145, м. Харків, вул. Шатилова Дача, 4.
