

УДК: 662.61, 662.66, 532.528.

ЗАСТОСУВАННЯ ПУЛЬСАЦІЙНОГО ДИСПЕРГАТОРА ЯК ГІДРОДИНАМІЧНОГО КАВІТАЦІЙНОГО РЕАКТОРА ДЛЯ ГОТУВАННЯ ВОДОВУГІЛЬНОГО ПАЛИВА

Недбайло А.Є.¹, канд. техн. наук, Іваницький Г.К.^{1,2}, докт. техн. наук, Целень Б.Я.¹, канд. техн. наук, Радченко Н.Л.¹ канд. техн. наук, Гоженко Л.П.¹, канд. техн. наук, Щепкін В.І.¹

¹Інститут технічної теплофізики НАН України, вул. Марії Капніст, 2а, Київ, 03057, Україна

²Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського", проспект Перемоги, 37, Київ, 03056, Україна

<https://doi.org/10.31472/ttpe.1.2023.4>

Проведено огляд методів вироблення водо-вугільного палива (ВВП). Відзначено тенденцію виробництва водовугільних суспензій з використанням кавітаційних методів. Розглянуто існуючі типи кавітаційних пристроїв, які застосовуються для створення дрібно дисперсних ВВС, відзначено переваги та недоліки таких апаратів. Запропоновано принципово новий тип кавітаційного реактора для виготовлення ВВП – двомембранного гідродинамічного пульсаційного диспергатора, оснащеного соплом Вентурі, що дозволяє досягти високого рівня кавітаційних ефектів при обробці ВВС. Розглянуто методику проведення лабораторних досліджень по виготовленню ВВС на основі гідродинамічного пульсаційного апарата. В статті наведені результати експериментального дослідження властивостей ВВС в залежності від масової концентрації та часу обробки. Визначено вплив цих параметрів на якісні характеристики продукту, таких як розподіл вугільних дисперсій за розміром, динамічну в'язкість, стабільність, а також на величину рН.

An overview of the production methods of coal-water fuel (CWF) was carried out. The trend of production of water-coal suspensions using cavitation methods was noted. The existing types of cavitation devices, which are used for the creation of finely dispersed CWF, were considered, and the advantages and disadvantages of such devices were noted. A fundamentally new type of cavitation reactor for the production of CWF was proposed - a double-membrane hydrodynamic pulsation disperser equipped with a Venturi nozzle, that allows achieving the high level of cavitation effects during the processing of CWF. The article presents the results of an experimental study of the CWF properties depending on mass concentration and processing time. The influence of these parameters on the quality characteristics of the product, such as the size distribution of coal dispersions, dynamic viscosity, stability, and the pH value as well, was determined.

Бібл. 13, рис. 5.

Ключові слова: гідродинамічна кавітація, пульсаційний диспергатор, водовугільне паливо, дисперсний аналіз, седиментаційна стійкість, в'язкість, рН.

d – діаметр частинок;

c_m – масова концентрація;

p – тиск;

v – швидкість течії суміші;

μ – динамічна в'язкість;

τ – час;

рН – показник активної кислотності;

ВВП – водовугільне паливо;

ВВС – водовугільна суспензія.

Вступ

Останніми роками у світі знову прокинувся інтерес до водовугільного палива, зумовлений насамперед зростанням цін на нафту, природний газ та інші енергоносії та підвищенням вимог щодо екології навколишнього простору. Україна багата на вугільні родовища, тому розвиток інфраструктури виробництва водо-вугільного палива на основі різних вугілля для використання в котельних установках теплоенергетики та житлово-комунального сектору замість природного газу є виключно важливою та нагальною державною проблемою [1,2].

Найбільш помітні успіхи у галузях технології ВВП на сьогодні спостерігаються у Китаї, Японії, Індії, – саме в країнах, бідних на природні вуглеводні, але які володіють помітними запасами вугільних середовищ. Технологія приготування ВВП у Китаї, так само як і розповсюджені у світі традиційні європейські технології, такі як "Reocarb" (Італія), "Fluidcarbon" (Швеція), "Densecoal" (Німеччина) та інші полягає у комбінації мокрого розмелу вугілля на різного типу млинах. Ці технології включають дві-три стадії подрібнення вугілля із застосуванням, в основному, барабанних вібраційних та кульових

млинів, що пов'язано з доволі великим енергетичними витратами. Гранулометричні склади ВВП, одержані за цими технологіями мають одну загальну властивість - бімодальність, яка суттєво підвищує їх седиментаційну стабільність, і концентрацію за рахунок максимального упакування твердої фази. Попри певні успіхи, існуючі технології ВВП не можна назвати завершеними. Залишається невирішеним ціла низка питань, насамперед, стосовно методів приготування та спалювання ВУТ. Незважаючи на значну кількість публікацій щодо характеристик горіння ВВП, питання про спосіб приготування паливної композиції залишається відкритим.

Сучасний стан розвитку технологій готування і спалювання ВВП та критичний аналіз існуючих публікацій по цій тематиці представлені оглядових статтях.[2-4]

Водовугільне паливо містить 60...70% тонкоподрібненого вугілля розміром 45...250 мкм, 30...40% води та 1% хімічного реагенту (пластифікатора, ПАР) для підвищення стабільності та реакційної здатності системи. Температура горіння ВВП становить 950... 1050°C, а ступінь вигорання палива - до 99,5%. Такі сприятливі умови сприяють зниженню в продуктах згорання оксидів азоту та окису вуглецю в 2 рази [2]. ВВП може вироблятися з антрацитів, кам'яного та бурого вугілля різних марок і зольності та води будь-якої якості, включаючи промислові води. Однією з найважливіших характеристик палива з точки зору його зберігання, транспортування та спалювання є його дисперсність, динамічна стабільність та реологічні властивості [1-8].

Якщо ВВС використовується для спалення вона має містити не менше ніж 60% вугілля по масі. Однак для застосування в гідротранспорті припустимі нижчі [1,5].

Розмір частинок ВВС відіграє важливу роль у реологічних характеристиках кінцевого продукту. При гідротранспорті суспензії максимально допустимий розмір частинок становить ~300 мкм. При зменшенні розміру нижче 300 мкм спостерігається зниження динамічної в'язкості суспензії. Але занадто дрібний розмір частинок (<50 мкм) призводить до суттєвого збільшення динамічної в'язкості. Тому для конкретного типу вугілля розподіл частинок за розміром (приміром, для бімодальної ВВС) оптимізується за критерієм найменшої можливої динамічної в'язкості суспензії [5,7]. В'язкість, що впливає на плинність ВУВ, в першу чергу залежить від властивостей вугілля і існує тонкий баланс між в'язкістю, плинністю і швидкістю осідання частинок [7].

Дослідження в'язкості ВВП ускладнюються тим, що незалежно від грануляційного складу подрібненого вугілля суспензія при течії в трупрово-

дах проявляє себе як неньютонівська псевдо пластична рідина. Ступінь псевдопластичності зростає зі збільшенням вмісту вугілля та зменшенням середнього розміру частинок. Для прогнозування реологічних параметрів неньютонівських суспензій, широкого гранулометричного складу необхідно провести детальні віскозиметричні випробування [1,5,7]. Взагалі вимоги до концентрації, дисперсного складу реологічних властивостей ВВС сильно різняться в залежності від того, чи передбачається її транспортування або тривале зберігання, чи ВВП готується безпосередньо перед спалюванням [1,10].

За фізико-хімічною природою ВУС – це не механічна суміш вугілля з водою, а колоїдно-дисперсна система, в якій по суті немає вихідного вугілля та немає баластових компонентів. Елементний склад палива ВУС включає як органічні, і неорганічні (мінеральні) елементи, кожен із яких грає певну роль формуванні його фізико-механічних і теплотехнічних властивостей. [1,4,6].

В останні роки спостерігається тенденція до застосування кавітаційних методів при виробництві дрібнодисперсних ВВС на вторинній стадії мокрого розмелу замість традиційного механічного диспергування за допомогою шарових чи вібраційних млинів. Це пов'язано з можливістю зменшення енергетичних витрат, а також спрямованого впливу на якість кінцевого продукту.

Кавітаційна обробка сприяє деструкції молекул вугілля, що розпадається на окремі органічні складові з активною поверхнею частинок та високою кількістю вільних органічних радикалів частинок розміром 5...10 мкм. В результаті кавітаційного впливу вода також зазнає змін - у ній утворюються атомарний водень, перекис водню H_2O_2 тощо [8]. Гідродинамічна кавітаційна обробка на стадії підготовки ВВП не лише механічно руйнує вугілля, а й змінює хімічний склад поверхневих шарів вугільних частинок за рахунок реакції окислення-гідролізу у воді. Це спричиняє зниження в'язкості та підвищення стабільності готової паливної суспензії, призводить до зміни динаміки горіння ВВП та додаткового зниження викиди NO_x в 1,6 разів, а CO_2 в 1,3 рази. Кавітаційний спосіб отримання ВУТ покращує реологічні та седиментаційні властивості цільового палива, знижує шкідливі викиди при горінні, впливає на параметри горіння [9]. Застосування гідродинамічного генератора для мокрого розмелу вугілля дозволяє підвищити дисперсність і забезпечити гомогенність ВВС, збільшити їх хімічну активність, що в результаті дало можливість отримати високо-реактивні ВВП із концентрацією вугілля близько 60–70% [10].

В якості кавітаційного реактора для диспергування часток суспензії при мокрому розмелу застосовувався кавітаційний роторно-імпульсний апарат (PIA-200) [8], роторний гідродинамічний генератор кавітації [9]. В роботі [10] використовувався гідродинамічний кавітаційний міксер, який працював у режимі суперкавітації з високою кутовою швидкістю (10000 об/хв).

Не зважаючи на високу ефективність такого типу роторних апаратів в операціях гомогенізації їм притаманні певні недоліки. По перше, обробка високов'язких суспензій супроводжується великою витратою енергії, нагріванням, високим абразивним зносом рухомих поверхонь, що значно скорочує термін експлуатації цих пристроїв [8]. По друге, через сильну механічну дію відбувається неконтрольоване надмірно роздрібнення частинок суспензії [8,9],

На основі аналізу існуючих кавітаційних технологій створення ВВС нами запропоновано принципово новий кавітаційний реактор для проведення операції мокро-го розмелу на другій стадії готування тонко дисперсних ВВС, в якому в певній мірі відсутні зазначені вище негативні фактори, властиві роторно-імпульсним апаратам, які застосовуються зараз в цих технологіях.

Принцип роботи кавітаційного реактора для виготовлення водо-вугільних суспензій.

В ІТТФ НАНУ на протязі років розробляються ефективні пульсаційні апарати з активною мембраною різної модифікації, які використовуються у різних галузях виробництва в якості змішувачів, гомогенізаторів та екстракторів [11]. Апарати цього типу відрізняються високою зносостійкістю, що дозволяє обробляти грубодисперсні рідинні суміші з твердими частинками,

незалежно від їх форми, розміру та абразивних властивостей. [11,12]. Останнім часом модифікація цих апаратів спрямована на ініціювання в них кавітаційних явищ для підвищення ступеня диспергування та прискорення внутрішніх процесів. В рамках цього напрямку за участю авторів створено принципово новий тип кавітаційний пульсаційний апарат, в якому завдяки незначній, на перший погляд, зміні в конструкції ініціюється більш широкий комплекс кавітаційних механізмів, що дозволяє обробляти сировину із широким спектром структурно механічних і реологічних характеристик при порівняно невеликих питомих витратах енергії [13]. Новизна конструкції у порівняннях з традиційними пульсаційними апаратами полягає в тому, що в каналі рідинного тракту вміщено сопло Вентурі заданої геометрії.

На рис. 1 наведено принципову схему та загальний вигляд 2-мембранного кавітаційного пульсаційного диспергатора з соплом Вентурі. Апарат складається із завантажувальної ємності 7 з ВВС, яка знаходиться під атмосферним тиском; робочої камери з еліптичними боковими поверхнями 4; прямої труби 5, що з'єднує камеру 4 з ємністю 7. На ділянці труби 5 вміщено профільоване сопло Вентурі 6. Всередині камери 4 розміщено дві круглі гнучкі мембрани, які розділяють рідинний та газовий тракати апарата. За допомогою швидкодіючого е/м клапана 3 камера 4 у відповідності до заданої програми періодично з'єднується з ресивером низького тиску (РНТ) 1, або з ресивером високого тиску (РВТ) 2. Величина тиску в РВТ підтримується компресором, а величина тиску в РНТ – вакуумним насосом. Принцип роботи апарата полягає в наступному.

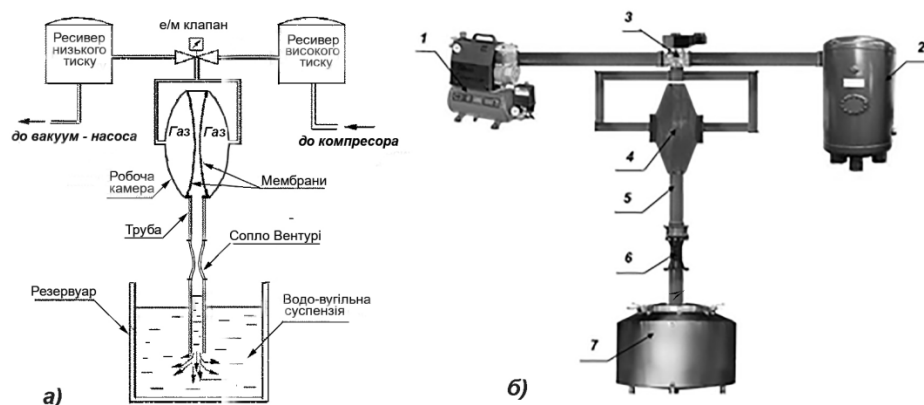


Рис. 1. Принципова схема (а) та загальний вигляд (б) кавітаційного пульсаційного диспергатора:
1 – ресивер низького тиску; 2 – ресивер високого тиску; 3 – електромагнітний клапан; 4 – робоча камера з мембранами; 5 – труба; 6 – сопло Вентурі; 7 – завантажувальна ємність з суспензією

В ємність 7 завантажують у заданому співвідношенні суміш попередньо роздрібненого вугілля з водою. На початку роботи рідина суміш через трубу 5 заповнює увесь об'єм камери 4, так що мембрани перекривають отвори, що з'єднують камеру з ресиверами. При з'єднанні камери з РВТ суміш під дією мембран виштовхується з камери 4 в ємність 7 через трубу 5 з соплом 6. Внаслідок швидкого інерційного руху вниз по трубі 5 рідина відривається від поверхні мембран із створенням глибокого вакууму над поверхнею стовпа рідини. Різка зміна тиску в об'ємі суміші в трубі прискорює масоперенос екстрагента всередині капілярної структури частинок сировини з можливим руйнуванням дисперсної фази і вилученням компонентів з клітин сировини. В ємності 7 під дією потужного струменя з труби відбувається інтенсивне турбулентне перемішування. Завдяки різниці тиску рідина в трубі швидко гальмується, змінює напрямок руху та зворотній, входить в камеру і притискається до поверхні мембран. На цій стадії камера 4 через клапан підключається до РНТ і мембрани швидко розходяться, перекриваючи отвори до ресиверів. При цьому відбувається різке гальмування потоку на бокових еліптичних поверхнях камери завдяки чому створюються потужні ефекти гідроудару всередині камери і в трубі [11,12]. На цій стадії камера знову підключається до РВТ, на чому завершується черговий цикл роботи пульсатора. За період одного циклу в рідинному тракті апарата ініціюється сукупність потужних механізмів, таких як кавітаційні ефекти всередині сопла, гідравлічний удар, дія зсувних напружень та інтенсивна турбулізація суміші.

Дана робота проведена з метою експериментальної перевірки та обґрунтування принципової можливості застосування кавітаційного пульсаційного диспергатора для готування тонко дисперсних водо-вугільних суспензій. В задачу дослідження не входило визначення оптимальних режимів створення ВВС по критеріям дисперсності, в'язкості та седиментаційної стабільності без застосування будь-яких хімічних реагентів - пластифікаторів.

Методика проведення експериментів

В експерименті використовували буре вугілля марки Б2 та водопровідна вода водопровідну воду. Методика отримання ВВС включає наступні операції: демінералізація вугілля за стандартною методикою та двостадійне подрібнення вугілля. Перша стадія – сухе подрібнення вугілля на кульовому млині до розміру частинок $d = 0...4$ мм із застосуванням сепаратора. Далі з попередньо роздрібненого вугілля готували водо-

вугільну суспензію із заданою масовою концентрацією c_m – вугілля/вода. В експерименті застосовувалися суспензії з концентраціями $c_m = 56, 60$ та 65% .

Друга стадія полягала у подальшому мокрому подрібненні частинок вугілля в кавітаційному пульсаційному диспергаторі до розмірів $d \leq 40$ мкм. Для цього попередньо приготовлену грубо дисперсну ВВС заливали в кількості 15 л в загрузочну ємність 7 апарата (рис.1) і проводили обробку суміші при температурі рідини 25°C . На першому етапі дослідження задача полягала у досягненні заданого ступеня дисперсності ($d \leq 40$ мкм) за можливо короткий час.

При обробці зразка суспензії заданої концентрації c_m початкова стадія полягала у виборі оптимального режиму – величини тиску в РВТ (в інтервалі $p_{\text{РВТ}} = 0,3 \div 0,5$ МПа) і, відповідно, тривалості одного циклу роботи апарата (в інтервалі $\Delta\tau_{\text{ц}} = 0,8 \div 1,2$ с). З урахуванням того, що $\Delta\tau_{\text{ц}} = \Delta\tau_{\text{РВТ}} + \Delta\tau_{\text{РНВ}}$, для кожного визначеного значення $\Delta\tau_{\text{ц}}$ необхідно також визначити оптимальні значення часу підключення камери до РВТ ($\Delta\tau_{\text{РВТ}}$) та до РНТ ($\Delta\tau_{\text{РНВ}}$). В процесі обробки величина тиску в РНТ підтримувалася на рівні $p_{\text{РНВ}} \propto 2$ кПа. Відбір проб суспензії безпосередньо з ємності пульсатора здійснювали через 10, 20 та 30 хвилин після початку обробки.

Дисперсійний аналіз ВВС проводили методами мікроскопічного аналізу на світловому мікроскопі Carl Zeiss Axio Imager Z1m. Обробку даних виконували за стандартною методикою.

Динамічна та умовна в'язкості одержаної ВВС визначалися, відповідно, за допомогою ротаційного віскозиметра ВСН-3 та віскозиметра ВЗ-246. Оскільки в задачу дослідження не входило визначення властивостей ВВС як неньютонівської рідини вимірювання динамічної в'язкості на віскозиметрі проводилися при стандартній кутовій швидкості обертання гільзи -200 об/хв.

Показник рН отриманих зразків тонко дисперсної ВВС контролювали за допомогою рН-метра Hanna Instruments HI 8424 N.

Результати дослідження

Експериментальні дослідження показують, що дисперсний склад суміші змінюється з часом обробки. Криві розподілу за розмірами вугільних частинок в зразках ВВС зображено на рис. 2.

Так, обробка в кавітаційному диспергаторі протягом 30 хв дозволяє отримувати фракційний склад палива, що відповідає вимогам використання як для ТЕС так і для котельних [1,2]. Обробка протягом 20 хв вже дозволяє

досягти необхідних показників для ТЕС. Тобто, в залежності від вимог до дисперсного складу суспензії можна використовувати різну тривалість обробки.

Результати вимірювання рН водо-вугільної суспензії з концентрацією $c_m = 56\%$ в залежності від часу обробки представлено на рис. 3.

Найбільш інтенсивне збільшення рН - на 2,3 одиниці спостерігалось після 10 хв обробки і склало приблизно. Подальша обробка також веде до підвищення рН, однак воно було менш вираженим і склало приблизно 0,5 одиниці наступні 20хв. та 30 хв. обробки. Підвищення рН середовища в умовах кавітаційної обробки спостерігалось іншими дослідниками [4,5,7], які пояснюють це утворенням вільних іонів та радикалів. В цьому діапазоні рН відбувається виділення гумінових кислот. Такі сполуки володіють вираженими поверхнево активними властивостями і забезпечують стійкість суспензії проти розшарування в часі отриманих ВВС. Тому використання кавітаційної стадії обробки може

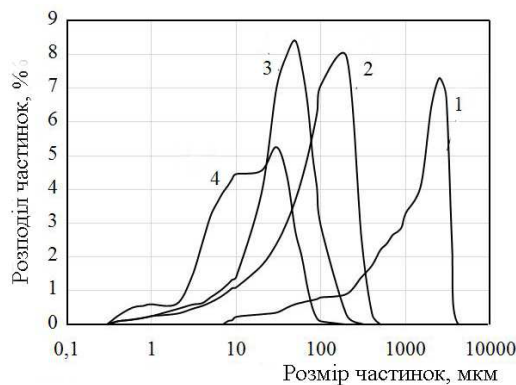


Рис. 2. Диференційні криві розподілу за розмірами вугільних частинок ВВС в залежності від часу обробки: 1 – вихідний зразок; 2 – 10 хв обробки; 3 – 20 хв обробки; 4 – 30 хв обробки

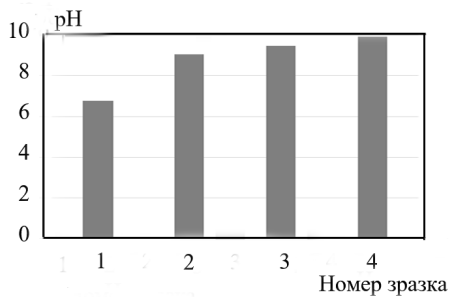


Рис. 3. Змінення величини рН в залежності від часу кавітаційної обробки: 1 – вихідний зразок; 2 – 10 хв обробки; 3 – 20 хв обробки; 4 – 30 хв обробки

суттєво мінімізувати або повністю скоротити об'єм використання поверхнево активних домішок.

Седиментаційну стійкість зразків ВВС різної концентрації c_m , одержаних після 30 хв обробки, визначали по висоті шару осадження дисперсної твердої фази і зміні технологічних характеристик з плином часу. Отримані залежності, представлені на рис.4, показують стабільність ВВС протягом 5-6 діб. Зниження висоти шару дисперсної фази свідчить про дестабілізацію дисперсної системи, що приводить до поступового осадження і згущення вугільних частинок. При підвищенні масової концентрації дисперсної фази з 55 до 65%, умовна в'язкість і міцність дисперсної системи зростає внаслідок збільшення числа контактів між частинками в одиниці об'єму.

Для кожної проби ВВС з концентраціями $c_m = 56\%$, 60% та 65% при різних термінах обробки визначалися динамічна та умовна в'язкості. На рис. 5 показано залежність динамічної в'язкості ВВС від масової

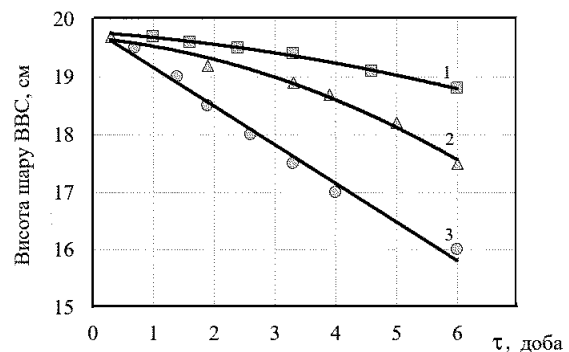


Рис. 4. Зміна з часом висоти шару дисперсної фази ВВС в процесі седиментації при різних концентраціях суспензії c_m : 1 – 56%; 2 – 60%; 3 – 65%

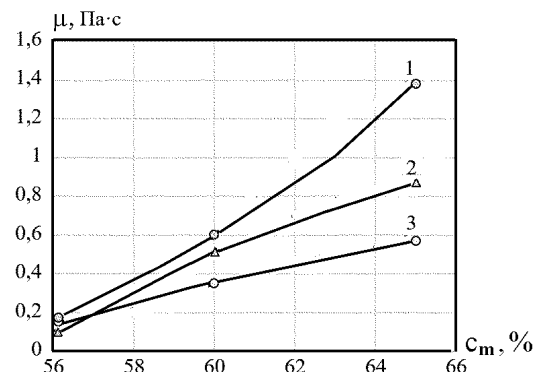


Рис. 5. Залежність динамічної в'язкості від масової концентрації дисперсної фази: 1 – після 30 хв обробки; 2 – після 20 хв обробки; 3 – після 10 хв обробки

концентрації вугілля. З аналізу графічних кривих можна дійти висновку, що з ростом дисперсності твердої фази в'язкість суспензії різко зростає з підвищенням концентрації суспензії і зменшується з часом кавітаційної обробки, що відповідає даним інших дослідників.

Так, найбільша динамічна в'язкість спостерігається в зразку з концентрацією 65% після 30-ти хвилинної обробки і досягла 1,38 Па•с. Згідно рекомендаціям, в'язкість ВВС має знаходитись в межах до 1 Па•с [1,2]. Отже параметрам в'язкості задовольняють всі отримані зразки, окрім тих, що пройшли 30-ти хвилинну обробку з масовою концентрацією більше 62%.

Висновки

Запропонована в даній роботі кавітаційна гідродинамічна технологія створення дрібнодисперсної водовугільної суспензії дозволяє суттєво інтенсифікувати процес виробництва ВВС, знизити енергозатрати на виробництво та забезпечити якість продукту, що відповідає вимогам теплоенергетичних підприємств. Попри те, що дана технологія знаходиться на початковому етапі розробки, лабораторні дослідження показали її перспективність. Використовуючи механізми гідродинамічної кавітації, можливо отримати достатньо рівномірний розподіл частинок вугілля за розмірами, що відповідає нормативним вимогам підприємств теплоенергетики, впливати на реологічні та структурно-механічні властивості суспензії. Також, особливе місце займає вплив кавітації на дисперсійне середовище, що може суттєво або зовсім скоротити необхідність додавання поверхнево-активних домішок до суспензії, та обумовлює якість і собівартість продукту. Такий ефект в комплексі з отриманням необхідної дисперсності частинок забезпечують седиментаційну стійкість ВВС, яка зберігається протягом 5-6 діб без застосування хімічних домішок. Підтримання седиментаційної стійкості суспензії протягом більш тривалого часу можливе також з застосуванням хімічних домішок або періодичною коротко тривалою рециркуляцією ВВС з інтервалом 2-3 доби.

ЛІТЕРАТУРА

1. Круть А.А. Совершенствование технологии приготовления водоугольных суспензий (ВУС). Прикладная гидромеханика. 2014. №2. С. 36–47
2. Долинский А.А., Халатов А.А. Водоугольное топливо: перспективы использования в теплоэнергетике и жилищно-коммунальном секторе. Промышленная теплотехника. 2007. № 5. С. 70–79.

3. Chang S., Zhuo J., Meng S., Qin S., Yao Q. Clean. Coal Technologies in China: Current Status and Future Perspectives. Engineering 2016. 2. P. 447–459.
4. Leonel J.R. Nunes. Potential of Coal–Water Slurries as an Alternative Fuel Source during the Transition Period for the Decarbonization of Energy Production: A Review. Appl. Sci. 2020, 10, 2470; DOI: 10.3390/app10072470
5. Singh H.; Kumar S.; Mohapatra S. K.; Prasad S. B.; Singh J. Slurryability and Flowability of Coal Water Slurry: Effect of Particle Size Distribution. J. Cleaner Prod. 2021, 323, 129183. DOI: 10.1016/j.jclepro.2021.129183.
6. Ибрагимов, Н. И., Мукольянц А. А., Эргашева Д. К., Бабаев М. Ш. Изучение и разработка технологии получения водоугольной суспензии на основе отходов Ангренского угольного разреза. Молодой учёный. 2017. 8(142). С.103-109. DOI: <https://moluch.ru/archive/142/40004/>
7. Atesok G., Boylu F., Sirkeci A.A., Dince H. The effect of coal properties on the viscosity of coal+water slurries. Fuel, 2002. 81(14). P. 1855-1858. DOI: 10.1016/S0016-2361(02)00107-2
8. Морозов А.Г., Коренюгина Н.В. Гидроударные технологии для получения водоугольного топлива. Новости теплоснабжения. 2010. №7. С. 18–21
9. Stebeleva O.P., Kashkina L.V., Minakov A.V., Vshivkova O.A. Impact of Hydrodynamic cavitation on the properties of coal-water fuel: An experimental study. ACS Omega 2022, 7 (42). 37369–37378. DOI: 10.1021/acsomega.2c03979
10. Алексеенко С.В., Мальцев Л.И., Кравченко И.В., А.А. Дектерев А.А., Кузнецов В.А. Обзор работ по приготовлению водоугольного топлива и его сжиганию в котлах //Горение и плазмохимия 19 (2021) 265-277. DOI: 10.18321/cpc464
11. Накорчевский А.И., Басок Б.И. Гидродинамика и тепломассоперенос в гетерогенных системах и пульсирующих потоках. Киев.: Наукова думка, 2001. 345 с. ISBN 966-00-0815-5
12. Иваницкий Г.К., Корчинский А.А., Матюшкин М.В. Математическое моделирование процессов в пульсационном диспергаторе ударного типа. Промышленная теплотехника.–2003. №1. С.29–34.
13. Целень Б.Я., Радченко Н.Л., Гоженко Л.П., Иваницкий Г.К.. Кавітаційний реактор пульсаційного типу для інтенсифікації процесів екстрагування Міжнародна науково-практичної on-line конференція “Проблеми енергоефективності та автоматизації в промисловості та сільському господарстві” (11-12 листопада 2020 р.). – Кропивницький: ЦНТУ, 2020. С. 201–202. Режим доступу: <http://www.kntu.kr.ua/?view=science&id=6>

APPLICATION OF A PULSATING DISPERSOR AS A HYDRODYNAMIC CAVITATION REACTOR FOR PREPARATION OF COAL WATER FUEL

Nedbailo A.E.¹, Ivanytsky G.K.^{1,2}, Tselen B. Ya.¹, Radchenko N.L.¹, Gozhenko L.P.¹, Shchepkin V.I.¹¹*Institute of Engineering Thermophysics of the National Academy of Science of Ukraine, vul. Marii Kapnist, 2a, Kyiv 03057, Ukraine*²*National technical University of Ukraine "National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute" 03056, prosp. Peremohy, Kyiv, Ukraine*<https://doi.org/10.31472/tpe.1.2023.4>

A brief review of modern technologies for the production and use of coal-water fuel (CWF) is carried out. The trend of creating innovative technologies for the production of coal-water suspensions using hydrodynamic cavitation methods was noted. Varieties of rotary-type cavitation reactors, which are used for wet grinding of coal and the creation of finely dispersed CWF, were considered, and the advantages and disadvantages of such devices were noted. On the basis of the conducted analysis, a new type of cavitation reactor for the production of CWF, created with the participation of the authors, is proposed. It is a double-membrane hydrodynamic pulsation disperser, equipped with a Venturi nozzle, which allows achieving the high level of cavitation effects in the treatment of coal-water suspensions. The method of conducting laboratory studies on the production of CWF on the basis of the hydrodynamic pulsation apparatus and the applied measuring devices are considered. The article presents the results of an experimental study of the obtained water-coal suspensions properties, which depend on the mass concentration and processing time. The influence of these parameters on the quality characteristics of the product, such as the size distribution of coal dispersions, dynamic viscosity, stability, and also on the pH value, was determined. The CWF rheological and stable properties have been found to depend on the concentration of the suspension and the processing duration. The results of the research can be used for the practical implementation of technologies for the production of hydrocarbon fuels for further use in thermal power plants.

References 15, figure 5.

Key words: hydrodynamic cavitation, coal-water fuel, cavitation, pulsating disperser, dispersion analysis, sedimentation stability, viscous, pH.

1. Krut' A.A. Refined technology of preparation of water-coal suspension. [Applied hydromechanics]. 2014. N2. P. 36-47. ([Rus.])

2. Dolinsky A.A., Khalatov A.A. Outlook of the coal-water fuel application in the thermal engineering and municipal-housing heating services. [Industrial heat engineering]. 2007. № 5. P. 70–79. (Rus.)

3. Chang S., Zhuo J., Meng S., Qin S., Yao Q. Clean. Coal Technologies in China: Current Status and Future Perspectives. Engineering 2016. 2. P. 447–459.

4. Leonel J.R. Nunes. Potential of Coal–Water Slurries as an Alternative Fuel Source during the Transition Period for the Decarbonization of Energy Production: A Review. Appl. Sci. 2020, 10, 2470; DOI:10.3390/app10072470

5. Singh H.; Kumar S.; Mohapatra S. K.; Prasad S. B.; Singh J. Slurryability and flowability of coal-water slurry: Effect of particle size distribution. J. Cleaner Prod. 2021, 323, 129183. DOI: 10.1016/j.jclepro.2021.129183.

6. Ibragimov, N. I., Mukolyants A. A., Ergasheva D. K., Babaev M. Sh. Study and development of technology for obtaining water-coal suspension based on waste from the Angren coal mine. [Young scientist]. 2017. 8(142). C.103-109. DOI: <https://moluch.ru/archive/142/40004/> (Rus.)

7. Atesok G., Boylu F., Sirkeci A.A., Dince H. The effect of coal properties on the viscosity of coal+water slurries. Fuel, 2002. 81(14). P. 1855-1858. DOI: 10.1016/S0016-2361(02)00107-2

8. Morozov A.G., Korenyugina N.V. Hydro-impact technologies for the production of water-coal fuel. [Heat supply news]. 2010. №7. P. 18–21. (Rus.)

9. Stebeleva O.P., Kashkina L.V., Minakov A.V., Vshivkova O.A. Impact of hydrodynamic cavitation on the properties of coal-water fuel: An experimental study. ACS Omega 2022, 7 (42). 37369–37378 DOI: 10.1021/acsomega.2c03979

10. Alekseenko S.V., Maltsev L.I., Kravchenko I.V., A.A. Dekterev A.A., Kuznetsov V.A. Review of work on the preparation of coal-water fuel and its combustion in boilers. [Combustion and Plasma Chemistry]. 2021. 19. 265–277. DOI: 10.18321/cpc464 (Rus.).

11. Nakorchevsky A.I., Basok B.I. Hydrodynamics and heat and mass transfer in heterogeneous systems and pulsating flows. Kyiv: [Naukova Dumka]. 2001. ISBN 966-00-0815-5. ([Rus.])

12. Ivanitsky G.K., Korchinsky A.A., Matyushkin M.V. A mathematical model for the hydrodynamic processes in impact dispersers. [Industrial Heat Engineering]. 2003. №1. P. 29–34. (Rus.)

13. Tselen B.Ya., Radchenko N.L., Gozhenko L.P., Ivanytsky G.K. Pulsation-type cavitation reactor for the intensification of extraction processes. [International scientific and practical on-line conference "Problems of energy efficiency and automation in industry and agriculture". (11-12 november 2020 p.)] – Kropyvnytskyi: [CNTU], 2020. P. 201–202. <http://www.kntu.kr.ua/?view=science&id=6> (Ukr.)

Отримано 13.02.2023

Received 13.02.2023